

EQUATORUM AL~KASHI

DALAM HISAB AWAL BULAN KAMARIYAH

Equatorum al-Kashi merupakan instrument falak abad keempat belas warisan peradaban Islam untuk menentukan posisi Matahari, Bulan, dan Planet dalam sistem tata surya. Equatorum al-Kashi di daratan eropa dikenal dengan sebutan Equatorium atau ekuatoria.

Dalam buku ini penulis mengembangkan instrument Equatorum al-Kashi Al-Kashi agar bisa digunakan sebagai hisab awal Bulan Kamariyah. Penulis memadukan antara konsep modern dan klasik dalam pembuatan instrument ini. Konsep modern penulis pakai ketika mendesain instrument ini menggunakan Software Desain Corel Draw. Selain itu, untuk menyempurnakan instrument ini agar bisa memproduksi data-data posisi Matahari dan Bulan berdasarkan Lintang dan Bujur, Penulis menggabungkan antara Universal Astrolabe dan Konsep Modern Equatorum al-Kashi.

Abdul Kohar, M.H.
Ma'shum Ahmad, M.H.

EQUATORUM AL-KASHI DALAM HISAB AWAL BULAN KAMARIYAH



Abdul Kohar, M.H.
Ma'shum Ahmad, M.H.



EQUATORUM AL~KASHI

DALAM HISAB AWAL BULAN KAMARIYAH

 **UIN MATARAM PRESS**
GEDUNG RESEARCH CENTER LT. 1 KAMPUS II UIN MATARAM
JI. GAJAH MADA NO. 100 JEMPONG BARU KOTA MATARAM



Abdul Kohar, M.H.
Ma'shum Ahmad, M.H.

EQUATORUM AL-KASHI

DALAM HISAB AWAL BULAN KAMARIYAH



EQUATORUM AL-KASHI DALAM HISAB AWAL BULAN KAMARIYAH

Penulis:

Abdul Kohar, M.H.
Ma'shum Ahmad, M.H.

ISBN 978-623-8497-44-7

Editor:

Dr. Arino Bemis Sado, S.Ag., M.H.

Layout:

Tim UIN Mataram Press

Desain Sampul:

Tim Creative UIN Mataram Press

Penerbit:

UIN Mataram Press

Redaksi:

Kampus II UIN Mataram (Gedung Research Center Lt. 1)
Jl. Gajah Mada No. 100 Jempong Baru
Kota Mataram – NTB 83116
Fax. (0370) 625337 Telp. 087753236499
Email: uinmatarampress@gmail.com

Distribusi:

CV. Pustaka Egaliter (Penerbit & Percetakan)
Anggota IKAPI (No. 184/DIY/2023)
E-mail: pustakaegaliter@gmail.com
<https://pustakaegaliter.com/>

Cetakan Pertama, Desember 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit.

PENGANTAR PENULIS

Pertama penulis panjatkan puji syukur kepada Allah SWT. Yang telah memeberikan rahmat, taufik dan petunjuk serta kekuatan lahir dan batin sehingga penulis dapat menyelesaikan buku ini.

Kedua, shalawat dan salam semoga selalu terlimpahkan kepada junjungan Nabi Agung Muhammad SAW, yang dengan kerasulan dan keteladannya manusia dapat membedakan jalan yang hak dan batil. Serta berkat beliau kita bisa merasakan manisnya Islam dan Iman.

Kajian tentang Instrumen klasik di bidang Ilmu Falak terbilang cukup langka, karena khususnya di Indonesia permasalahan ilmu falak selalu berputar pada masalah Arah Kiblat, Waktu Sholat, Awal bulan Kamariyah dan gerhana. Padahal instrument klasik merupakan warisan pemikiran astronom Muslim yang memiliki nilai filosofis yang tinggi untuk pengembangan keilmuan astronomi.

Arti penting instrument-instrument klasik pada era modern yakni menggali nalar saintifik dan khazanah peradaban Islam khususnya sains matematika dan astronomi. Instrument-instrument klasik tersebut begitu sederhana dan terbatas namun memiliki basis keilmuan yang kuat dan filosofis yang tinggi yaitu etos mencari kebenaran guna mengungkap semesta dan ilahi.

Pada saat ini instrument klasik yang masih cukup populer digunakan adalah *Rubu' Mujayyab*. Instrument *Rubu' Mujayyab* merupakan bagian kecil dari warisan instrument klasik astronom

muslim. Buku ini berupaya untuk mengeksplorasi instrument klasik astronom muslim yang lain, yaitu *Equatorum al-Kashi* Al-Kashi yang cukup populer pada zamannya.

Equatorum al-Kashi merupakan instrument falak abad keempat belas warisan peradaban Islam untuk menentukan posisi Matahari, Bulan, dan Planet dalam sistem tata surya. *Equatorum al-Kashi* di daratan eropa dikenal dengan sebutan *Equatorium* atau *ekuatoria*.

Equatorum al-Kashi dibuat oleh astronom Persia bernama Jamshid Ghiyath Al-Din Al-Kashi atau dikenal dengan al-Kashi. Al-Kashi juga menulis karya tentang alat ini berjudul "*Nuzhah al-Hada'iq*" (taman-taman tamasya). Dalam karya ini al-Kashi memberi informasi tentang latar belakang ia menulis dan membuat alat ini, dimana awalnya merupakan permintaan dari kolega-koleganya dan alat ini ia persembahkan untuk observatorium yang ada di Samarkan. *Equatorum al-Kashi* dipakai dalam istilah manuskrip al-kashi berbahasa persia yang kemudian diterjemahkan dan mendapatkan komentar oleh E.S Kennedy dengan judul buku *The Planetary Equatorium Of Jamshid Ghiyath Al-Din Al-Kashi*. E.S Kennedy yakni seorang sejarawan astronomi yang fokus pada kajian pergerakan planet-planet dan instrument equatorium.

Dalam buku ini penulis mengembangkan instrument *Equatorum al-Kashi* Al-Kashi agar bisa digunakan sebagai hisab awal Bulan Kamariyah. Penulis memadukan antara konsep modern dan klasik dalam pembuatan instrument ini. Konsep modern penulis pakai ketika mendesain instrument ini menggunakan Software Desain Corel Draw. Selain itu, untuk menyempurnakan instrument ini agar bisa memproduksi data-data

posisi Matahari dan Bulan berdasarkan Lintang dan Bujur, Penulis menggabungkan antara Universal Astrolabe dan Konsep Modern Equatorum al-Kashi.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya buku ini bukanlah hasil jerih payah penulis secara pribadi. Tetapi semua itu merupakan wujud akumulasi dari usaha dan bantuan, pertolongan serta do'a dari berbagai pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikannya. Oleh karena itu, tiada kata yang pantas penulis ungkapkan kepada pihak-pihak yang membantu proses pembuatan buku ini, kecuali ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Meskipun telah berupaya dengan optimal, penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki kelemahan dan kekurangan dari berbagai segi dan jauh dari sempurna. Sehingga saran dan kritik konstruktif penulis harapkan untuk kebaikan dan kesempurnaan buku ini.

Akhirnya penulis berharap dan berdoa semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan para pembaca umumnya. *Amin ya rabbal alamin.*

Mataram, Kamis Kliwon, 10 Agustus 2023
23 Muharram 1445

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR PENULIS	iii
DAFTAR ISI	vii
BAB I MUKADDIMAH.....	1
BAB II HISAB AWAL BULAN KAMARIYAH.....	9
A. Landasan Hukum Penentuan Awal Bulan Kamariah.....	9
B. Tipologi Metode Hisab Awal Bulan Kamariah.....	14
C. Data-data dalam Menghitung Awal Bulan Kamariah	19
BAB III GEOMETRI PERGERAKAN BENDA LANGIT DAN GANGGUAN PADA PERGERAKAN BULAN DAN MATAHARI	27
A. Elemen Orbit Benda Langit	27
B. Sistem Koordinat Benda Langit	28
C. Sistem Koordinat Ekliptika	29
D. Sistem Transformasi Koordinat	35
E. Gangguan Utama Pada Pergerakan Bumi di Ekliptika	38
F. Gangguan Utama Pada Pergerakan Bulan di Ekliptika.....	40
G. Sistem Penanggalan Julian Day dan Epoch J2000	46
BAB IV INSTRUMENTASI DAN ZIJ ASTRONOMI KLASIK	53
A. Klasifikasi Instrumentasi Astronomi Abad Pertengahan	53
B. Instrumen Klasik Perhitungan Posisi Matahari, Bulan, dan Planet-planet.....	54
C. Proyeksi Bola Langit Pada Instrumen.....	56
D. Karakteristik Zij Astronomi Abad Pertengahan.....	58
BAB V ALGORITMA DAN KONSTRUKSI INSTRUMENT <i>EQUATORUM AL-KASHI AL-KASHI</i>	61
A. Biografi Intelektual al-Kashi.....	61
B. Konstruksi Instrumen <i>Equatorum al-Kashi</i>	69

C. Prinsip Kerja Instrumen <i>Equatorum al-Kashi</i>	72
D. Data Astronomi atau <i>Zij</i> pada Instrument <i>Equatorum al-Kashi</i>	85
BAB VI INSTRUMENT MODERN <i>EQUATORUM AL-KASHI</i> SEBAGAI HISAB AWAL BULAN KAMARIAH	99
A. Kekurangan Instrumen <i>Equatorum al-Kashi</i> Sebagai Hisab Awal Bulan Kamariyah	99
B. Rekomputasi <i>Zij</i> Instrument <i>Equatorum al-Kashi</i> Berbasis Julian Day dan Data J2000 untuk Hisab Awal Bulan Kamariyah.....	100
BAB VII REDESAIN <i>EQUATORUM AL-KASHI</i> SEBAGAI HISAB AWAL BULAN KAMARIYAH.....	111
BAB VIII PENGAPLIKASIAN INSTRUMEN DALAM HISAB AWAL BULAN KAMARIYAH.....	131
A. Modern <i>Equatorum al-Kashi</i> Sebagai Hisab Awal Bulan Kamariyah.....	131
1. Menghitung Tanggal Ijtimak	131
2. Menghitung Bujur Ekliptika Matahari pada Julian Day Ijtimak.....	132
3. Menentukan Waktu Ghurub Sebenarnya	136
4. Menghitung posisi rata-rata Matahari dan Bulan pada Jam Ghurub Sebenarnya	139
5. Menentukan Bujur Ekliptika Sebenarnya, Aksensioekta, dan Deklinasi Matahari dan sudut waktu Matahari saat ghurub sebenarnya.....	140
6. Menentukan Bujur Ekliptika sebenarnya Bulan	142
7. Lintang Ekliptika Sebenarnya Bulan	146
8. Menentukan Aksensioekta dan Deklinasi Bulan	148
9. Menentukan Sudut Waktu Bulan	150
10. Menentukan Ketinggian Hilal Hakiki	150

11. Kesimpulan	152
B. Hasil Perhitungan Awal Ramadhan 1427/2006 Instrumen Modern Equatorum al-Kashi.....	153
C. Hasil Perhitungan Awal bulan Dzulhijjah 1440/2019 Instrumen Modern Equatorum al-Kashi.....	156
D. Hasil Perhitungan awal Bulan Ramadhan 1440 tanggal 29 Rajab Instrumen Modern Equatorum al-Kashi	160
E. Hasil Perhitungan awal Bulan Ramadhan 1440 (satu hari setelah tanggal ijtimak) Instrumen Modern Equatorum al- Kashi	163
F. Akurasi Instrumen Termodifikasi Sebagai Hisab Awal Bulan Kamariyah	166

BAB I MUKADDIMAH

Equatorum al-Kashi merupakan instrument falak abad keempat belas warisan peradaban Islam untuk menentukan posisi Matahari, Bulan, dan Planet dalam sistem tata surya.¹ *Equatorum al-Kashi* di daratan eropa dikenal dengan sebutan *Equatorium* atau *ekuatoria*.² Instrumen ini termasuk ke dalam jenis alat hitung yang berdasarkan teori Ptolomeus.³ Fungsi instrument ini sangat kompleks, yakni dapat menghitung bujur ekliptika Matahari⁴, Bulan dan Planet-planet di tata surya, lintang ekliptika Matahari, Bulan dan Planet-planet di tata surya, parallax⁵ Bulan, mengetahui waktu konjungsi⁶ Bulan, mengetahui gerhana Matahari dan

¹ Fuad Sezgin, *Science and Technology in Islam*, Germany: the Institute for the History of Arabic-Islamic Science, Volume II, 2010, hlm. 194.

² Fuad Sezgin, *Science and...*, hlm. 192.

³ E.s. Kennedy, *The Planetary Equatorium Of Jamshid Ghiyath Al-Din Al-Kashi*, United States of America: Princeton University Press, 1960, hlm. Vii.

⁴ Bujur Ekliptika merupakan busur yang dihitung dari titik Aries sepanjang lingkaran ekliptika. Istilah lainnya *sabaq* yakni kecepatan perjalanan Matahari atau Bulan sepanjang falaknya dalam satu jam. *Sabaq* Matahari dalam satu jam rata-rata 2'30'' sedang *sabaq* Bulan 32'56,4''. Lihat Susiknan Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, Pustaka Pelajar: Yogyakarta, 2012, hlm. 187.

⁵ Parallax atau *Ikhtilaf al-Mandzar* yakni beda lihat, sudut yang terjadi antara dua garis yang ditarik dari benda langit ke titik pusat Bumi dan garis yang ditarik dari benda langit ke mata si peninjau. Beda lihat itu berubah-ubah harganya tiap saat. Harga yang terbesar terjadi ketika benda langit berada di kaki langit dan harga terkecil ketika benda langit berada di zenith. Besarnya parallax tergantung juga kepada jarak antara benda langit dan Bumi. Makin besar jaraknya makin kecil harga parallaxnya. Lihat Susiknan Azhari, *Ensiklopedi ...*, hlm. 98.

⁶ Konjungsi merupakan pertemuan atau berkumpulnya (berimpitnya) dua benda yang berjalan secara aktif. Pengertian konjungsi bila dikaitkan dengan Bulan baru kamariah adalah suatu peristiwa saat Bulan dan Matahari terletak pada posisi garis bujur yang sama, bila dilihat dari arah timur ataupun arah barat. Lihat Susiknan Azhari, *Ensiklopedi ...*, hlm. 93.

gerhana Bulan.⁷ Dengan kata lain, instrument ini merupakan miniatur sistem tata surya yang di instrumenkan.

Equatorum al-Kashi dibuat oleh astronom Persia bernama Jamshid Ghiyath Al-Din Al-Kashi atau dikenal dengan al-Kashi.⁸ Al-Kashi juga menulis karya tentang alat ini berjudul “*Nuzhah al-Hada'iq*” (taman-taman tamasya). Dalam karya ini al-Kashi memberi informasi tentang latar belakang ia menulis dan membuat alat ini, dimana awalnya merupakan permintaan dari kolega-koleganya dan alat ini ia persembahkan untuk observatorium yang ada di Samarkan.⁹ *Equatorum al-Kashi* dipakai dalam istilah manuskrip al-kashi berbahasa persia yang kemudian diterjemahkan dan mendapatkan komentar oleh E.S Kennedy dengan judul buku *The Planetary Equatorium Of Jamshid Ghiyath Al-Din Al-Kashi*. E.S Kennedy yakni seorang sejarawan astronomi yang fokus pada kajian pergerakan planet-planet dan instrument equatorium.¹⁰

Arti penting instrument-instrument klasik pada era modern yakni menggali nalar saintifik dan khazanah peradaban Islam khususnya sains matematika dan astronomi.¹¹ Instrument-instrument klasik tersebut begitu sederhana dan terbatas namun memiliki basis keilmuan yang kuat dan filosofis yang tinggi yaitu

⁷ Fuad Sezgin, *Science and...*, hlm. 194.

⁸ Fuad Sezgin, *Science and...*, hlm. 192. Lihat juga E.s. Kennedy, *The Planetary...*, hlm. Vii.

⁹ Arwin Juli Rakhmadi Butar-Butar, *Khazanah Astronomi Islam Abad Pertengahan*, Purwokerto: UM Purwokerto Press, 2016, hlm. 403.

¹⁰ E.s. Kennedy, *The Planetary...*, hlm. 10.

¹¹ Arwin Juli Rakhmadi Butar-Butar, *Khazanah Astronomi Islam Abad Pertengahan*, Purwokerto: UM Purwokerto Press, 2016, hlm. 315.

etos mencari kebenaran guna mengungkap semesta dan ilahi.¹² Selain itu, astronomer muslim zaman dulu juga mampu memproduksi berbagai macam tabel benda langit meliputi pergerakan Matahari, Bulan, Planet dan katalog Bintang-bintang walaupun dengan instrument terbatas dan sederhana. Tabel-tabel tersebut digunakan untuk kebutuhan sosial dan kesehariannya seperti kepentingan pelayaran, perdagangan, prediksi musim untuk bercocok tanam dan terlebih penting lagi dalam penentuan waktu-waktu ibadahnya.¹³ Salah satu contoh tabel yang masih dipakai sampai sekarang adalah tabel *zij* Ulugh Beg dalam kitab *Sullamun Nayyirain*.¹⁴ Tabel ini khususnya data Bulan dipakai oleh beberapa muslim di Indonesia untuk menentukan masuknya awal Bulan Ramadhan.

Instrument klasik dapat dikategorikan berdasarkan fungsinya menjadi lima kategori sebagai berikut: *Pertama*, Sebagai instrument observasi (*Observation*). *Kedua*, Sebagai instrument mengukur posisi dan jarak. *Ketiga*, Sebagai instrument mengukur waktu (*Timekeeping*). *Keempat*, Sebagai instrument hitung (*Computing*). *Kelima*, Sebagai alat peraga (*Demonstartion*). *Equatorum al-Kashi* dikategorikan sebagai alat hitung (*computing*).¹⁵

¹² Arwin Juli Rakhmadi Butar-Butar, *Khazanah...*, hlm. 314.

¹³ Arwin Juli Rakhmadi Butar-Butar, *Khazanah...*, hlm. 313.

¹⁴ Muhammad Mansur, *Sullamun Nayyiran*, tahun 1925, hlm. 1.

¹⁵ Lin J dan L Yan, *Decoding the Mechanism of Antikythera Astronomical Device*, USA: Springer, 2016, hlm. 22-24

Equatorum al-Kashi dikategorikan menjadi instrument hitung. Dalam fungsinya menghitung posisi Matahari dan Bulan membutuhkan data bantu berupa tabel astronomi atau *Zij*. Tabel-tabel ini dipakai sebagai acuan dalam menggerakkan alat. Pembuatan tabel ini di dasarkan atas pergerakan rata-rata harian dan posisinya.

Years, months, days, & hours	☉		☾			♃	♄	♅	♆	♇
	Mean	Apogee	Mean	Anomaly	♁	Mean	Mean	Mean	Compound Anomaly	Compound Anomaly
851	8 ^s 4;22	3 ^s 1;59	6 ^s 1;49	3 ^s 28;46	9 ^s 24;4	6 ^s 12;7	4 ^s 24;9	6 ^s 4;8	3 ^s 29;57	7 ^s 8;4
852	4;7	3 2;0	10 11;12	6 27;29	10 13;24	6 24;21	5 24;29	0 15;25	11 14;44	9 1;48
853	3;53	1	2 20;35	9 26;12	11 2;43	7 6;[3]5	6 24;50	6 26;48	6 29;32	10 25;32
854	3;39	2	6 29;50	0 24;55	11 22;3	7 8;[4]8	7 25;10	1 8;0	2 14;[1]9	0 19;16
855	3;24	3	11 9;20	3 23;38	0 11;23	8 [1;2]	8 [25;]31	7 19;17	9 29;6	2 13;0
856	3;10	3	3 18;44	6 22;22	1 0;43	8 [3;16]	9 25;51	2 0;34	5 13;54	4 6;44
857	2;56	4	7 28;7	9 21;5	1 20;2	8 [25;]29	10 26;12	8 11;51	0 28;41	6 0;28
858	2;41	5	0 7;30	0 19;49	2 9;22	9 [7;4]3	11 26;33	2 23;8	8 13;29	7 24;12
859	2;27	6	4 16;53	3 18;31	2 28;42	9 [9;5]7	0 26;53	9 4;25	3 28;16	9 17;55
860	8 2;13	3 2;6	8 26;16	6 17;14	3 18;1	10 [2;1]0	1 27;14	3 15;43	11 13;4	11 11;39
10	11 27;31	0 0;9	7 3;51	5 17;11	[6] 13;17	4 2;17	10 3;26	3 22;52	2 27;54	5 27;19
20	25;13	17	2 7;4[2]	11 4;23	0 28;35	8 4;33	8 6;52	7 15;44	5 25;49	11 24;38
30	22;50	26	9 11;33	4 21;34	7 9;52	[0] 6;50	6 10;17	11 8;36	8 23;43	5 21;27
40	20;26	34	4 15;24	10 8;46	1 23;9	4 9;6	4 13;43	3 1;27	11 21;38	11 19;16
50	18;3	43	11 19;15	3 25;57	8 6;26	8 11;23	2 17;9	6 24;19	2 19;32	5 16;36
60	15;40	0 0;51	6 23;4	9 13;9	2 19;43	0 13;39	0 20;35	10 17;11	5 17;26	11 13;55
70	13;17	0 1;0	1 26;58	3 0;20	9 3;0	4 15;56	10 24;0	2 10;3	8 15;21	5 11;14
80	10;53	9	9 0;49	8 17;32	3 16;17	8 18;12	8 27;26	[6] 2;54	11 13;16	11 8;33
90	8;30	17	4 4;40	2 4;43	9 29;35	0 20;29	7 0;57	9 25;46	2 11;10	5 5;52
100	11 6;6	0 1;26	11 8;31	7 21;55	4 12;52	4 22;46	5 4;18	1 18;38	5 9;4	11 3;11
200	10 12;13	0 2;51	10 17;1	3 13;49	8 25;43	9 15;32	10 8;36	3 7;16	10 18;9	10 6;22
300	9 18;20	4;17	9 25;32	11 5;44	1 8;35	2 8;17	3 12;53	4 25;54	3 27;13	9 9;33
400	8 24;27	5;43	9 4;3	6 27;36	5 21;27	7 1;3	8 17;11	6 14;32	9 6;18	8 12;46
500	8 0;34	7;9	8 12;34	2 19;33	10 4;19	11 23;50	1 21;29	8 3;10	2 15;22	7 15;56
600	7 6;41	8;34	7 21;5	10 11;20	2 17;10	4 16;35	6 25;47	9 21;28	7 24;27	6 19;7
700	6 12;47	0 10;0	6 29;35	6 3;22	7 0;2	9 9;20	0 0;4	11 10;27	1 3;31	5 22;18
800	[5] 18;54	11;26	6 8;6	1 25;17	11 12;54	2 2;6	5 4;22	0 29;5	6 12;36	4 [15;]20
900	4 25;1	12;51	5 16;37	9 17;12	3 25;46	6 24;52	10 8;40	2 17;43	11 20;40	3 28;40
1000	4 1;8	0 14;17	4 25;7	5 9;6	8 8;37	11 17;38	3 12;57	4 6;21	5 0;45	3 1;52

Gambar 1.2. Data mean motion dan mean position al-Kashi dalam Tahun Persian

Data-data al-kashi tentunya akurat pada masanya, Namun karena benda langit yang dihitung juga bergerak sehingga memperbaharui data astronomi menjadi suatu keniscayaan.

Tabel-tabel tersebut hampir mirip dengan konsep tabel dalam kitab khulashuh. Dalam pembuatan tabel khulashoh penulis menemukan kemiripan dalam bidang *mean motion* Matahari atau pergerakan rata-rata harian Matahari sebesar $0^{\circ}59'8.833''$ dan pergerakan Bulan sebesar $13^{\circ}11'$. Namun dalam konsep pembuatan tabel dalam kitab khulashoh menggunakan penanggalan Hijriah sedangkan dalam tabel al-Kashi tersebut menggunakan penanggalan Persia.

Memodifikasi tabel al-Kashi sebagai hisab awal Bulan sangat mungkin dilakukan. tentunya langkah-langkahnya dalam memodifikasi tabel tersebut membutuhkan acuan penanggalan yang berbasis kepada kalender Masehi atau Hijriah atau Julian Day. Selain itu, perlu adanya updatisasi berdasarkan data epoch terbaru. Data koordinat Matahari, Bulan, dan Planet-planet yang terbaru berbais kepada Epoch¹⁷ J2000. Untuk menghasilkan data koordinat benda langit yang sesuai dengan posisi terbaru, maka instrument *Equatorum al-Kashi* harus dilakukan upgrade.

Selain *Zij* tersebut perlu dilakukan “updatisasi”, *Zij* dalam instrument *Equatorum al-Kashi* juga berbasis kepada penanggalan Persia yang disebut *Yazdegird*. Tahun pertama dalam penggunaan

¹⁷ Epoch yakni pangkal tolok untuk menghitung. Dalam bahasa arab biasa disebut *Mabda' at-Tarikh*, dalam penggunaannya lebih populer dengan *Mabda'*, sedangkan dalam bahasa inggris disebut *Principle of Motion*. Lihat Susiknan Azhari, *Ensiklopedi ...*, hlm. 62.

zij tersebut yakni tahun 851 penanggalan Persia yang sama dengan 16 november 1481 M.¹⁸ Hal ini menjadi salah satu kelemahan dalam memakai data tersebut karena masih berpedoman pada penanggalan Persia yang masih menggunakan epoch / acuan data astronomis lama.

Kemudian, instrumen *Equatorum al-Kashi* hanya mampu menghasilkan data-data pada koordinat ekliptika yakni menentukan bujur dan lintang ekliptika Matahari, Bulan dan planet-planet. Data-data yang didapatkan hanya pada koordinat ekliptika. Hal ini merupakan kekurangan instrumen *Equatorum al-Kashi* jika dipakai dalam menghitung awal bulan kamariyah. Untuk mendapatkan nilai ketinggian hilal maka diperlukan data-data pada koordinat equator dan horizon¹⁹

Buku ini akan fokus pada upaya rekomputasi tabel al-Kashi berbasis kepada epoch J2000 dengan acuan Julian day kemudian modifikasi instrumen *Equatorum al-Kashi* yang selanjutnya dapat digunakan untuk menghisab awal Bulan kamariah. Rekomputasi *zij* tersebut kemudian akan diterapkan dalam modifikasi instrument *Equatorum al-Kashi*. Karena arti penting *zij* tersebut sebagai dasar dalam pembuatan alat instrument *Equatorum al-Kashi*. Penerapan data-data terbaru dalam instrument *Equatorum al-Kashi* menjadi keniscayaan guna mendapatkan data ephemeris Matahari dan Bulan yang mendekati dengan perhitungan modern.

¹⁸ Fuad Sezgin, *Science and...*, hlm. 195.

¹⁹ Lihat E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium of Jamshid Ghiyath al-Din al-Kashi*, Princeton: Princeton University Press, 1960, hlm. 81-157.

Posisi benda langit yang terus bergerak mengikuti perjalanan waktu mengakibatkan koordinat benda-benda langit relatif terhadap Bumi juga terus berubah. Model-model perhitungan benda langit semakin teliti seiring dengan perkembangan ilmu dan teknologi. Instrument klasik yang berdasarkan atas data zaman dulu pastinya akan berbeda dengan data ephemeris era modern, namun akan menarik ketika instrumen klasik mengalami “updatisasi” dengan data-data modern, terlebih data tersebut nantinya akan digunakan untuk menghitung awal Bulan kamariah dan sampai sejauh mana keakurasiannya.

BAB II

HISAB AWAL BULAN KAMARIYAH

Kata hisab secara etimologi berarti menghitung. Kata ini diserap dari bahasa Arab (حسب - يحسب - حساب). Hisab merupakan bentuk masdar dari kata hasaba yang berarti menghitung.²⁰ Dalam bahasa Inggris kata ini diterjemahkan menjadi *calculation* atau *arithmetic* yakni ilmu yang membahas tentang seluk beluk perhitungan.²¹

Dalam terminologi penentuan awal Bulan Kamariah, metode hisab berarti perhitungan posisi benda langit pada waktu tertentu. Penentuan posisi ini difokuskan kepada posisi Matahari, Bumi, dan Bulan. Variabel yang dicari dari hasil perhitungan ini adalah waktu ijtimaq, waktu terbenam Matahari, dan posisi Bulan saat terbenam Matahari.²²

A. Landasan Hukum Penentuan Awal Bulan Kamariah

Penentuan awal Bulan kamariah tidak terlepas dari penafsiran hadis-hadis penetapan awal Bulan. Perbedaan cara pandang dan penafsiran terkait hadis-hadis ini melahirkan dua model penetapan awal Bulan kamariah yakni model hisab dan rukyah. Diantara hadis-hadis tersebut adalah hadis riwayat Ibnu Umar:

²⁰ Ahmad Izzudin, *Fiqih Hisab Rukyah*, Jakarta: Erlangga, 2007, hlm. 06.

²¹ Badan Hisab dan Ru'yah Departemen Agama, *Almanak Hisab Rukyah*, Jakarta: Proyek Pembinaan Badan Peradilan Agama Islam, 2010, hlm. 14.

²² Muh. Nashirudin, *Kalender Hijriah Universal*, Semarang: El-Wafa, 2013, hlm. 117-118.

حدثني جرمة ابن يحيى أخبرنا ابن وهب أخبرني يونس عن ابن شهاب قال حدثني سالم بن عبد الله أن عبد الله ابن عمر رضي الله عنهما قال: سمعت رسول الله صلى الله عليه وسلم يقول إذا رأيتموه فصوموا وإذا رأيتموه فأفطروا فإن غم عليكم فاقدروا له (رواه مسلم)²³

Artinya: Telah menceritakan kepada saya Harmalah ibnu Yahya, telah memberi kabar kepada kami Ibnu Wahbi, telah memberikan kabar kepada saya Yunus dari Ibnu Syihab berkata: telah menceritakan kepada saya Salim Ibnu Abdillah bahwa Abdillah bin Umar r.a berkata: saya mendengar Rasulullah SAW bersabda: apabila kamu melihat Hilal berpuasalah, dan apabila kamu melihat Hilal berbukalah (ber-idulfitri-lah). Jika Hilal terhalang oleh awan terhadapmu, maka kadarkanlah (HR. Muslim)

Penafsiran terhadap hadis ini melahirkan model berfikir hisab dan rukyah dalam penetapan awal Bulan kamariyah. Aliran rukyah mempraktekkan hadis secara zahir sesuai praktek pada masa nabi Muhammad SAW. Sementara aliran hisab lebih memahami hadis secara kontekstual sehingga melahirkan metode yang memanfaatkan perkembangan ilmu dan teknologi yaitu ilmu perhitungan benda-benda langit (Astronomi).

Dalam syarah *al-minhaj*, Imam nawawi memberikan keterangan bahwa hadis ini mempunyai beberapa arti yang

²³ Muslim bin Hajaj Abu al-Hasan al-Naisaburi, *al-Jami' al-Shohih al-Musamma Shohih Muslim*, tp, 1992, halm 481-483

menyebabkan perbedaan penafsiran oleh para ulama. Perbedaan tersebut terletak pada pemaknaan kata *فاقدروا*. Ada yang berpendapat bahwa *فاقدروا* bermakna *المنازل بقدره بحساب المنازل* yang berarti bahwa awal Bulan dapat ditentukan dengan perkiraan perhitungan atau hisab posisi hilal. Diantara ulama yang berpendapat demikian adalah Ibnu Qutaibah, Ibnu Suraij dan ulama' Muta'akhirin. Pendapat yang lain mengatakan bahwa *فاقدروا* bermakna *تمام العدد ثلاثين يوما قدروا له* yang berarti bahwa penentuan awal Bulan harus melalui rukyatul hilal dan jika tertutup mendung maka umur Bulan harus dikenakan menjadi 30 hari. Pendapat ini mempertimbangkan redaksi hadis yang lain, yang berbunyi *فان غبي عليكم فأكملوا عدّة شعبان ثلاثين يوما*. Pendapat ini merupakan pendapat Jumbuh ulama, diantaranya Imam malik, Imam Syafi'I dan Abu Hanifah.²⁴

Menurut Syihabuddin al-Qalyubi hadis diatas memiliki 10 penafsiran yang beragam, yaitu:²⁵

1. Perintah berpuasa berlaku untuk semua orang yang melihat hilal dan tidak berlaku untuk yang tidak melihat.
2. Melihat artinya menggunakan mata, karena itu ia tidak berlaku atas orang buta (mata tidak berfungsi).

²⁴ Al-Imam al-Hafidz Muhyi al-Din Abu Zakariya Ibn Yahya Ibn Syarif Ibn Hurry al-Nawawi, *al-Minhaj fi Syarah Shahih Muslim Ibn al-Hajjaj*, Riyadh: Baitul Afkar al-daulyah, tt. hlm. 680.

²⁵ Syihabudin al-Qalyubi, *Hasyiyah Minhaj al-Thalibin*, Kairo: Mustafa al-Babi al-Halabi, Jilid II, 1956. hlm. 49 dikutip oleh Ahmad Izzuddin, *Fikih Hisab...*, hlm. 3.

3. Melihat (rukyah) secara ilmu bernilai mutawatir dan merupakan berita dari orang adil.
4. Nash tersebut juga memiliki makna zhan sehingga mencakup ramalan dan nujum.
5. Ada tuntutan puasa secara terus menerus atau kontinyu jika terhalang pandangan atas hilal manakala sudah ada kepastian hilal sudah dapat dilihat.
6. Ada kemungkinan hilal sudah wujud, sehingga wajib puasa, meskipun menurut ahli astronomi belum ada kemungkinan hilal terlihat.
7. Perintah hadis ditujukan untuk kaum muslim secara menyeluruh, namun pelaksanaan rukyah tidak diwajibkan kepada seluruh orang atau bahkan hanya perseorangan.
8. Hadis ini mengandung makna berbuka puasa.
9. Rukyah hanya untuk mengawali Ramadhan, tidak untuk mengakhirinya.
10. Yang menghalangi rukyah hanya mendung, bukan selainnya.²⁶

Selain itu ada beberapa ayat al-Quran yang terkait tentang penetapan awal Bulan kamariah, yakni surat Yunus ayat 5 dan surat Yasin ayat 39.

²⁶ Syihabudin al-Qalyubi, *Hasyiyah Minhaj al-Thalibin*, Kairo: Mustafa al-Babi al-Halabi, Jilid II, 1956. hlm. 49 dikutip oleh Ahmad Izzuddin, *Fikih Hisab...*, hlm. 3.

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ
السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ
يَعْلَمُونَ ٥ 27

Artinya: Dialah yang menjadikan Matahari bersinar dan Bulan bercahaya dan ditetapkan-Nya manzilah-manzilah (tempat-tempat) bagi perjalanan Bulan itu, supaya kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan yang demikian itu melainkan dengan hak. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada orang-orang yang mengetahui. (QS Yunus/10. 5)

وَالْقَمَرَ قَدَرْتُهُ مَنَازِلَ حَتَّىٰ عَادَ كَالْعُرْجُونِ الْقَدِيمِ ٣٩ 28

Artinya: Dan telah Kami tetapkan bagi Bulan manzilah-manzilah, sehingga (setelah dia sampai ke manzilah yang terakhir) kembalilah dia sebagai bentuk tandan yang tua. (QS Yasin/36. 39)

Ayat-ayat ini menjelaskan bahwa Allah menciptakan Bulan sebagai penanda waktu bagi manusia, dalam kitab tafsir *Fathu al-Qadir* dijelaskan bahwa *dhamir* kepada kalimat *wakduruh manazil* kembali kepada Bulan, bahwasanya Allah

²⁷ Depag RI, *al-Qur'an dan Terjemahnya*, Semarang, CV Toha Putra, 1989, hlm 297

²⁸ Depag RI, *al-Qur'an...*, hlm 700

telah menciptakan *manazilah-manazilah* bagi perjalanan Bulan saat mengelilingi Bumi (Revolusi). *Manazilah-manazilah* tersebut adalah jarak tempuh Bulan dalam sehari semalam, yang berjumlah dua puluh delapan *manzilah*. Setiap malam Bulan mencapai satu *manzilah* dan tidak melebihinya. Maka, pada permulaanya Bulan tampak kecil (hilal), kemudian tampak membesar sedikit demi sedikit hingga akhirnya tampak sempurna (*badr*). Di akhir tempat edarnya Bulan akan tampak tipis dan membentuk busur (hilal tua).²⁹ Kemudian tidak nampak selama dua malam jika hitungan Bulannya genap (tidak bisa rukyat dan terjadi istikmal) atau selama satu malam jika hitungan Bulannya kurang (berhasil rukyat).³⁰

B. Tipologi Metode Hisab Awal Bulan Kamariah

Tipologi perhitungan awal Bulan kamariah yakni klasifikasi model perhitungan awal Bulan kamariah di Indonesia. Setidaknya terdapat dua model perhitungan awal Bulan kamariah yakni hisab urfi dan hisab *haqiqi*. Hisab *haqiqi* merupakan penentuan awal Bulan kamariah dengan perhitungan yang berdasarkan pergerakan Bulan dan Bumi yang sebenarnya.³¹ Jumlah hari dalam setiap Bulannya tidaklah tetap dan tidak beraturan, umurnya 29 hari atau 30 hari atau

²⁹ Muhammad Ibn ‘Ali Ibn Muhammad al-Syaukani, *Fathu al-Qadir al-Jami’ baina Fanni al-Riwayat wa al-dirayat min ‘Ilm al-Tafsir*, Mauqi’ al-Tafsir, tt. hlm. 611-612.

³⁰ Muhammad Ibn ‘Ali Ibn Muhammad al-Syaukani, *Fathu al-Qadir...*, hlm. 611-612.

³¹ Depag RI, *Pedoman Perhitungan Awal*, hlm. 08.

kadang-kadang pula bergantian seperti menurut perhitungan hisab *urfi*.³² Metode hisab *haqiqi* terbagi menjadi tiga yaitu hisab hisab *haqiqi bi at-taqribi*, hisab *haqiqi bi at-tahqiq*, hisab *haqiqi bi at-tadqiq* atau hisab kontemporer.

1. Hisab *Haqiqi bi at-Taqribi*

Hisab *Haqiqi bi at-Taqribi* adalah hisab yang datanya bersumber dari data yang telah disusun dan dikumpulkan oleh Ulugh Beyk as-Samarkand (w. 1420 M).³³ Pengamatannya berdasarkan teori *geosentris* (Bumi sebagai pusat peredaran benda-benda langit). Perhitungan ketinggian hilal dihitung dari pusat Bumi bukan dari permukaan Bumi, serta berdasarkan dengan gerak rata-rata Bulan setiap harinya 12 derajat. Metode perhitungan ketinggian hilal dengan cara menghitung waktu antara ijtimak dengan terbenam Matahari lalu dibagi dua. Sebagai konsekuensinya apabila ijtimaki terjadi sebelum *ghurub* (Matahari terbenam), maka posisi hilal telah diatas ufuk. Hisab ini belum memberikan informasi azimuth Bulan maupun Matahari.³⁴

Buku-buku atau kitab yang membahas sistem ini antara lain: *Sullam an-Nayirain, Fath al-Ra'uf al-Mannan*,

³² Susiknan Azhari, *Ilmu Falak Teori dan Praktek*, Yogyakarta: Suara Muhammadiyah, 2004, hlm. 64.

³³ Ulugh Beyk adalah orang Persia yang menjadi Matematikawan, Astronomer dan sekaligus sebagai Sultan yang pernah mendirikan Observatorium (tempat observasi benda langit), lihat Susiknan Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2012, hlm. 223.

³⁴ A. Ghazalie Masroeri, *Pedoman Rukyah*, Lajnah Falakiyah PBNU, 2006, hlm. 50.

*Tadzkirah al-Ikhwan, Bulugh al-Wathar, Risalah al-Qamarain, Risalah al-Falakiyah, Tashil al-Mitsal, Jadawil al-Falakiyah, Syams al-Hilal Jilid 1, Bughta' al-Rafiq, Qawaid al-Falakiyah, Awail al-Falakiyah.*³⁵

2. Hisab *Haqiqi bi at-Tahqiq*

Hisab *haqiqi bi at-tahqiq* adalah model perhitungan berdasarkan data astronomis yang diolah dengan trigonometri (ilmu ukur segitiga) dengan koreksi-koreksi gerak Bulan maupun Matahari yang sangat teliti.³⁶ Metode ini dicangkok dari kitab *al-Mathla' as-Sa'id fi Hisabati al-Kawakib ala ar-Rashdi al-Jadid* yang berakar dari sistem astronomi serta matematika modern yang asal muasalanya dari sistem hisab astronom-astronom muslim tempo dulu dan telah dikembangkan oleh astronom-astronom barat berdasarkan penelitian baru.³⁷ Dalam menyelesaikan perhitungannya digunakan alat-alat elektronik misalnya kalkulator ataupun komputer. dapat pula diselesaikan dengan menggunakan daftar logaritma empat desimal maupun dengan menggunakan *rubu' mujayyab* (kuadran). Hanya saja perhitungan yang diselesaikan dengan menggunakan daftar logaritma maupun *rubu'* hasilnya kurang halus. Hal ini disebabkan adanya pembulatan angka-

³⁵ Lihat Sriyatin Sadiq al-Falaky, *Makalah Pelatihan dan Pendalaman Ilmu Falak*, Pascasarjana IAIN Walisongo Semarang tanggal 10-11 januari 2009.

³⁶ A. Ghazalie Masroeri, *Pedoman Rukyah...*, hlm. 51.

³⁷ Ahmad Izzudin, *Fiqih Hisab Rukyah...*, hlm. 08.

angka invers dari logaritma, serta ketidaktepatan pembagian pada menit dan detik.³⁸

Dalam menghitung ketinggian hilal, sistem ini memperhatikan posisi *observer* atau pengamat (lintang tempat dan bujur tempat), deklinasi Bulan, Sudut waktu Bulan dan Aksesnsiorekta Bulan. Lebih jauh diperhitungkan juga pengaruh refraksi (pembiasan sinar), Paralaks (beda lihat), *dip* (kerendahan ufuk) dan semi diameter Bulan. Hisab *haqiqi bi at-Tahqiq* mampu memberikan informasi tentang waktu terbenamnya Matahari setelah terjadi ijtimak, ketinggian hilal, azimuth Matahari maupun Bulan untuk sutau tempat observasi.³⁹

Buku dan kitab yang membahas model perhitungan ini diantaranya adalah *al-Mathla' as-Sa'id fi Hisabati al-Kawakib 'ala ar-Rashdi al-Jadid, al-Manahij al-Hamidiyyah fi Hisabati an-Nataij as-Sanawiyyah, al-Khulashah al-Wafiyyah, Badi'ah al-Mitsal, Muntaha Nataij al-Aqwal, Hisab Haqiqi, Nur al-Anwar, Ittifaq dzati al-Bain*⁴⁰.

3. Hisab *Haqiqi bi at-Tadqiq*

Sistem hisab *haqiqi bi at-tadqiq* merupakan sistem perhitungan yang melibatkan ribuan suku koreksi dan berdasarkan penelitian terakhir. Sistem ini mempunyai

³⁸ A. Ghazalie Masroeri, *Pedoman Rukyah...*, hlm. 51.

³⁹ *Ibid.*

⁴⁰ Sriyatin Sadiq al-Falaky, *Makalah Pelatihan dan Pendalaman Ilmu Falak*, Pascasarjana IAIN Walisongo Semarang tanggal 10-11 januari 2009.

kesamaan metode dengan hisab *haqiqi bi at-tahqiqi*, hanya saja sistem koreksinya lebih kompleks sesuai perkembangan ilmu dan teknologi.⁴¹

Selain itu, perbedaan antara hisab *haqiqi bi at-tadqiq* dengan *haqiqi bi at-tahqiq* terletak pada data yang ditampilkan. Data-data tersebut sudah masak dan tinggal mengaplikasikannya ke dalam rumus segitiga bola atau lebih tepatnya transformasi koordinat dari ekliptika ke ekuator kemudian horizon. Berbeda dengan *haqiqi bi at-tahqiq* data tersebut diolah sedemikian rupa sehingga mendapatkan nilai pada koordinat horizon.⁴²

Karya yang membahas sistem perhitungan dan data-data yang ditampilkan diantaranya adalah *Almanac Nautika, Astronomical Almanac, Jean Meuus, EW. Brown, New comb, Ephemeris Hisab ru'yah, (Hisab Win dan Win Hisab), Ephemeris al-Falakiyah*, program-program komputer lainnya seperti *Taqwim al-Falakiyah, Mawaqit, Nur al-Falak, Nur al-Anwar Program, al-Ahillah, Mooncal Monzur, Accurate Times, Sun Times, Ascrip*, dan lain sebagainya.⁴³

⁴¹ Susiknan Azhari, *Selayang Pandang Hisab Rukyah*, Jakarta: BIMAS Islam, 2004, hlm. 21-22.

⁴² Fairuz Sabiq, *Telaah Metodologi Penetapan Awal Bulan Kamariah di Indonesia*, Tesis Pascasarjana IAIN Walisongo Semarang, 2007, hlm. 106-107.

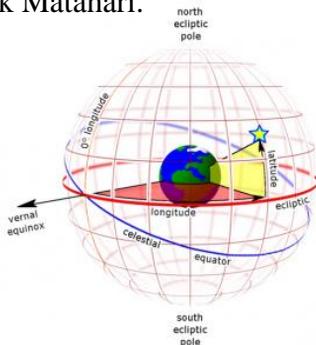
⁴³ Sriyatin Shadiq, *Perkembangan Hisab Rukyat dan Penetapan Awal Bulan Qamariyah dalam Menuju Kesatuan Hari Raya*, Surabaya: Bina Ilmu, 1995, hlm. 66-67.

C. Data-data dalam Menghitung Awal Bulan Kamariah

Sistem perhitungan awal Bulan kamariah sangat beragam disesuaikan dengan tingkat keakurasian yang dihasilkan. Keakurasian ini dapat dikategorikan menjadi akurasi yang rendah dengan model hisab urfi, kurang akurat dengan model hisab *hakiki bi at-Taqribi*, cukup akurat dengan model hisab *hakiki bi at-Tahkik* dan akurat dengan model hisab *hakiki bi at-Tadqiq*. Hisab *hakiki bi at-Tahkik* dan *hakiki bi at-Tadqiq* dalam proses perhitungan waktu ijtima, waktu ghurub dan ketinggian hilal diperlukan beberapa data yang harus diketahui terlebih dahulu yakni:

1. Data Matahari

- a. Bujur Ekliptika Matahari merupakan Busur yang diukur dari titik Aries (*al-haml*) sepanjang lingkaran ekliptika sampai ke titik Matahari.⁴⁴



Gambar 2.1 Bujur Ekliptika Matahari diistilahkan dengan Longitude dan Lintang Ekliptika Matahari diistilahkan dengan latitude.

⁴⁴ Drs. A. Jamil, Ilmu Falak (Teori dan Aplikasi), Jakarta: Amzah, 2016, cet-4, hlm. 131. Lingkaran ekliptika merupakan lingkaran di bola langit yang memotong lingkaran equator langit dengan membentuk sudut sekitar $23^{\circ} 27'$. Lihat Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu Falak*, Yogyakarta: Buana Pustaka, 2005, hlm. 17.

- b. Lintang Ekliptika Matahari merupakan jarak titik pusat Matahari dari bidang ekliptika.⁴⁵ Atau dapat juga didefinisikan dengan busur sepanjang lingkaran kutub ekliptika dihitung dari titik pusat Matahari hingga lingkaran ekliptika.⁴⁶ Lintang ekliptika digambarkan pada gambar 1.1 yang diistilahkan dengan latitude.
- c. *Asensio Rekta* Matahari merupakan busur yang dihitung dari titik Aries sepanjang lingkaran equator ke arah timur sampai Matahari.⁴⁷ *Asensio Rekta* diartikan dengan “panjatan tegak”.
- d. Deklinasi Matahari merupakan jarak sudut dari benda langit tersebut ke lingkaran ekuator⁴⁸ diukur melalui lingkaran waktu⁴⁹ yang melalui benda langit tersebut. Deklinasi sebelah utara ekuator dinyatakan positif dan diberi tanda (+), sedang deklinasi sebelah selatan ekuator dinyatakan negatif dan diberi tanda (-).⁵⁰
- e. Semi Diameter Matahari atau jari-jari yaitu jarak titik pusat Matahari dengan piringan bagian luarnya. Dalam

⁴⁵ *Ibid.*

⁴⁶ Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu...*, hlm. 5.

⁴⁷ Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu...*, hlm. 54.

⁴⁸ Lingkaran ekuator yaitu lingkaran pada bola langit yang merupakan proyeksi dari lingkaran khatulistiwa. Lihat Susiknan Azhari, *Ilmu Falak...*, hlm. 27

⁴⁹ Lingkaran waktu yaitu lingkaran pada bola langit yang menghubungkan kedua titik kutub. Lingkaran waktu ini bertitik pusat pada titik pusat bola langit. Oleh karenanya merupakan lingkaran besar. Susiknan Azhari, *Ilmu Falak...*, hlm. 27

⁵⁰ Susiknan Azhari, *Ilmu Falak...*, hlm. 27

istilah lain semi diameter disebut juga *Nishful Quthur*. Nilainya sekitar $0^{\circ} 16'$.⁵¹

- f. *Equation of Time* merupakan selisih antara waktu kulminasi hakiki dengan waktu kulminasi rata-rata. Istilah lain penyebutan *equation of time* adalah *Ta'dilul waqti* atau *Ta'dilul auqat* atau *Ta'dilul zaman*.⁵²

2. Data Bulan

- a. Bujur Ekliptika Bulan adalah Busur yang diukur dari titik Aries (*al-haml*)⁵³ sepanjang lingkaran ekliptika sampai ke titik Bulan.⁵⁴
- b. Lintang Ekliptika Bulan merupakan busur sepanjang lingkaran kutub ekliptika dihitung dari titik pusat Bulan hingga lingkaran ekliptika. Harga lintang Bulan antara 0° s/d $5^{\circ} 8'$. Jika Bulan berada di utara ekliptika maka lintang Bulan bertanda positif (+) dan jika Bulan berada di selatan ekliptika maka lintang Bulan bertanda negatif (-).⁵⁵

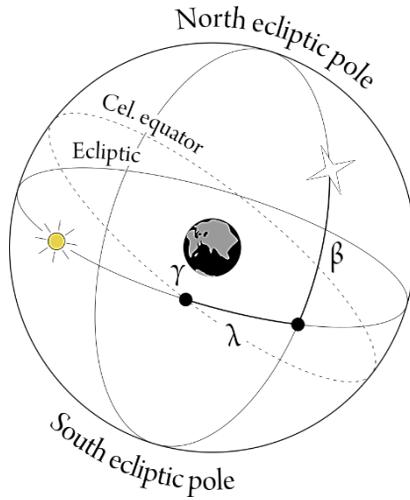
⁵¹ Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu...*, hlm. 61.

⁵² Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu...*, hlm. 79.

⁵³ Titik Aries merupakan nama salah satu rasi bintang yang ada di sabuk zodiak. Pada rasi ini terdapat 11 buah bintang, satu diantaranya adalah Haml atau aries. Lihat Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu...*, hlm. 29.

⁵⁴ Lihat Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu...*, hlm. 84.

⁵⁵ Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu...*, hlm. 5.



Gambar 2.2. Simbol λ disebut dengan Bujur Ekliptika Bulan dan β disebut dengan lintang ekliptika Bulan.

- c. Aksensioekta Bulan merupakan busur yang dihitung dari titik Aries sepanjang lingkaran equator ke arah timur sampai Bulan.
- d. Deklinasi Bulan jarak sudut dari benda langit tersebut ke lingkaran ekuator diukur melalui lingkaran waktu yang melalui benda langit tersebut.
- e. *Horizontal Parallax* merupakan beda lihat terhadap suatu benda langit bila dilihat dari titik pusat Bumi dengan dilihat dari permukaan Bumi. Istilah lain untuk *horizontal Parallax* yakni *Ikhtilaful Mandzar*. Nilai *Ikhtilaful Mandzar* berubah-ubah setiap saat tergantung pula dengan ketinggian benda langit itu dari ufuk. Semakin jauh jaraknya semakin kecil harga parallaksnya. Bulan

berada dekat dengan Bumi, sehingga nilai *Ikhtilaful Mandzar* cukup besar yakni paling besar bernilai sekitar 57 menit.⁵⁶ Begitu juga dengan ketinggian.

- f. Semi Diameter adalah jarak titik pusat Matahari dengan piringan bagian luarnya. Dalam istilah lain semi diameter disebut juga *Nishful Quthur*. Nilainya sekitar $0^{\circ} 16'$.
- g. *Angle Bright Limb* yang berarti sudut kemiringan hilal yaitu sudut kemiringan piringan hilal yang memancarkan sinar yang dipengaruhi oleh arah posisi hilal dari Matahari diukur dari titik pusat hilal ke zenit dan dari titik pusat hilal ke Matahari.⁵⁷
- h. *Fraction Illumination* adalah luas piringan Bulan yang menerima sinar Matahari yang tampak dari Bumi. Pada saat Bulan purnama *Fraction Illumination*-nya = 1 dan ketika Bulan, Matahari, dan Bumi berada pada garis lurus atau sejajar nilai *Fraction Illumination* = 0.⁵⁸

3. Menentukan Sudut Waktu Hilal

Setelah data-data pada variabel Bulan dan Matahari diketahui, langkah selanjutnya adalah mencari data sudut waktu⁵⁹ hilal saat ghurub. Data sudut waktu Bulan ini akan digunakan untuk menghitung ketinggian hilal saat ghurub.

⁵⁶ Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu...*, hlm. 33.

⁵⁷ Drs. A. Jamil, *Ilmu Falak...*, hlm. 133.

⁵⁸ Drs. A. Jamil, *Ilmu Falak...*, hlm. 133.

⁵⁹ Sudut waktu merupakan sudut yang dibentuk oleh lingkaran waktu dengan lingkaran meridian. Sudut waktu bernilai positif, jika benda langit berada di belahan langit barat bernilai positif dan jika benda langit berada pada bagian langit timur bernilai negatif. Lihat Abdur Rahim, *Ilmu Falak*, Yogyakarta: Liberty, 1983, hlm. 6.

Perhitungan nilai sudut waktu Bulan dilakukan dengan persamaan *Local Sidereal Time*⁶⁰ (LST). Atau dengan kata lain harga t Bulan diperoleh dengan menghitung asensio rekta Matahari ditambah sudut waktu Matahari saat ghurub dikurangi asensio rekta Bulan.⁶¹ Jika dinotasikan, persamaan ini adalah:

$$\text{LST Matahari} = \text{LST Bulan}^{62}$$

$$\alpha \text{ Matahari} + t \text{ Matahari} = \alpha \text{ Bulan} + t \text{ Bulan, maka}$$

$$t \text{ Bulan} = \alpha \text{ Matahari} + t \text{ Matahari} - \alpha \text{ Bulan}$$

Keterangan:

LST = *Local Sidereal Time*

α = Aksensio rekta

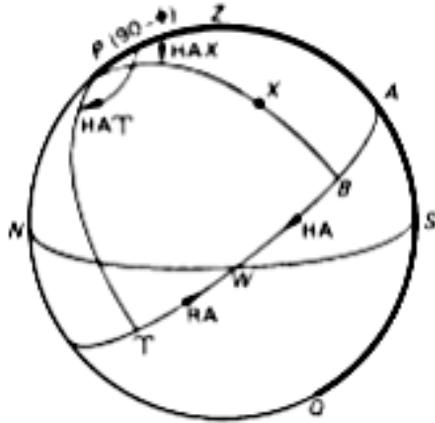
t = Sudut Waktu

jika digambarkan dalam bola langit persamaan LST akan seperti dibawah ini:

⁶⁰ *Local sidereal time* merupakan sudut waktu aries yang diukur pada meridian pengamat. Apabila titik Aries atau Haml berada diatas meridian pengamat, maka nilai LST pada saat itu adalah 0^j dan apabila titik Haml bergerak ke arah barat, semua bintang bergerak bersama-sama. Persamaan ini juga digunakan untuk memperkirakan posisi Bintang. Lihat Abdul Hamid Tahir, *Unsur-Unsur Astronomi Praktik Untuk Kegunaan Tanah*, Malaysia: Penerbitan UTM, 1990, hlm. 71.

⁶¹ Lihat Abd. Salam Nawawi, *Ilmu Falak*, Sidoarjo: Aqaba, 2010, hlm. 64.

⁶² Nilai sudut waktu dan aksensio rekta dinyatakan dalam satuan derajat busur. Lihat A.E. Roy, *Principles and Practice*, Philadelphia: Institut of Phisic Publishing, hlm. 78.



Gambar 2.3. segitiga bola *local sidereal time*.

X merupakan posisi benda langit. Jika ada dua benda langit maka akan membentuk segitiga Bola yang paralel antara benda langit satu dengan benda langit yang lain. Sehingga, antara satu komponen dapat dicari dengan komponen yang lain dengan persamaan yang paralel. Persamaan tersebut sangat penting dalam menghitung posisi benda langit satu dari benda langit lainnya⁶³

⁶³ Lihat A.E. Roy, *Principles ...*, hlm. 78.

BAB III

GEOMETRI PERGERAKAN BENDA LANGIT DAN GANGGUAN PADA PERGERAKAN BULAN DAN MATAHARI

A. Elemen Orbit Benda Langit

Ukuran, bentuk dan arah dari orbit benda langit dapat diketahui ketika kita bisa menentukan elemen orbit dari benda langit tersebut. Jean Meeus mengatakan bahwa ada beberapa metode untuk menghitung posisi benda langit pada orbit ellipsis sekitar Matahari pada suatu saat tertentu, salah satunya dengan mengetahui elemen orbit benda langit.⁶⁴ Elemen orbit benda langit tersebut diuraikan dalam enam elemen orbit, yaitu:

1. *Semi-major axis* (a), yaitu setengah sumbu utama dari orbit benda langit. Elemen ini menunjukkan karakter ukuran (*size*) dari benda langit tersebut.
2. *Eccentricity* (e), yaitu ukuran yang menunjukkan sejauh mana penyimpangan bentuk orbit dari bentuk bulat. Nilai dari *eccentricity* berkisar antara 0 dan 1. Jika nilai $e = 0$ maka bentuk orbitnya adalah lingkaran, jika nilainya adalah $0 < e < 1$ maka bentuk orbitnya adalah ellipsis, kemudian jika nilai $e > 1$ maka bentuk orbitnya adalah hiperbola.

⁶⁴ Jean Meeus, *Astronomical Algorithm*, Virginia: Willmann-Bell, 1991, hlm. 181P

3. *Inclination (i)*, yaitu sudut antara bidang orbit benda langit dan bidang referensi. Missal *inclination* orbit Bulan adalah sudut yang dibentuk oleh bidang orbit Bulan mengelilingi Bumi dan bidang equator.
4. *Longitude of ascending node* yaitu sudut yang dihitung pada bidang referensi mulai dari vernal *vernal equinox* (titik aries) sampai dengan *ascending node* (titik nodal naik) dari orbit.
5. *Argument of perihelion* yaitu sudut yang diukur pada bidang orbit mulai dari *ascending node* ke titik *perihelion*.
6. *Time of Perihelion* yaitu waktu yang dibutuhkan oleh benda langit melalui bidang orbitnya menuju titik *perihelion*.
- 7.

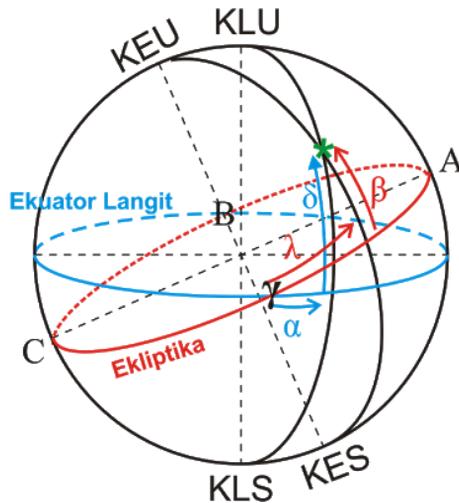
B. Sistem Koordinat Benda Langit

Pemetaan posisi Matahari, Bulan dan Planet-planet pada bola langit disebut sistem koordinat. Sistem koordinat ini berfungsi untuk menerangkan posisi benda langit yang diukur menurut titik referensi tertentu.⁶⁵ Berikut akan dibahas beberapa sistem koordinat yang penting dalam memetakan posisi benda-benda langit yaitu: Sistem koordinat ekliptika, sistem koordinat equator dan sistem koordinat horizon.

⁶⁵ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta: Penerbit UGM, 2012, hlm. 47.

C. Sistem Koordinat Ekliptika

Sistem koordinat ekliptika merupakan pemetaan posisi benda langit menggunakan acuan bidang ekliptika, yaitu bidang edar Bumi mengelilingi Matahari, yang memiliki kemiringan $23,5^\circ$ dari ekuator.⁶⁶



Gambar 3.1. Bola langit sistem koordinat ekliptika
Koordinta ekliptika terdiri atas:

- Lintang Ekliptika (disimbolkan dengan *Beta* β) yakni busur yang diukur dari bidang ekliptika sampai ke titik pusat benda langit, positif ke arah Kutub utara Ekliptika (KUE)⁶⁷, negatif ke arah Kutub selatan Ekliptika (KES).

⁶⁶ Lihat Ahmad Musonnif, *Ilmu Falak*, Yogyakarta: Teras, 2011, hlm. 47

⁶⁷ Kutub Ekliptika Langit merupakan lingkaran besar yang membentuk sudut 90° dari bidang ekliptika. Di bagian utara ekliptika disebut kutub utara ekliptika dan di bagian selatan ekliptika disebut kutub selatan ekliptika. Lihat Abd. Salam Nawawi, *Ilmu Falak*, Sidoarjo: Aqaba, 2010, hlm. 15.

Nilai lintang ekliptika berkisar antara $+90^\circ$ hingga -90° . Lintang ekliptika sering disebut juga lintang langit.

- Bujur Ekliptika (disimbolkan dengan *Lambda* λ) yakni busur yang diukur dari titik Aries sepanjang ekliptika, positif searah dengan asensio rekta positif, atau diukur berlawanan arah putaran bola langit. Nilai bujur ekliptika diukur dari 0° sampai 360° . Bujur ekliptika sering disebut juga bujur langit. Tanggal 21 Maret bujur Ekliptika Matahari 0° dan semakin hari semakin positif.

Dalam koordinat Ekliptika dikenal juga istilah *Ascending node* (titik nodal naik) dan *Descending node* (titik nodal turun). Titik nodal naik dan turun ini disebabkan karena Ekliptika dan Ekuator langit berpotongan di dua titik, Aries dan Libra. Titik Aries disebut juga sebagai titik nodal naik (*Ascending node*) dalam koordinat Ekliptika, sebab bila kita mengukur bujur ekliptika secara positif sepanjang ekliptika, kita akan melintasi titik aries dengan arah sedang “naik” atau melintasi belahan bola langit selatan ke belahan bola langit utara. dengan alasan sebaliknya, titik Libra disebut titik nodal turun.⁶⁸

1. Sistem Koordinat Equator

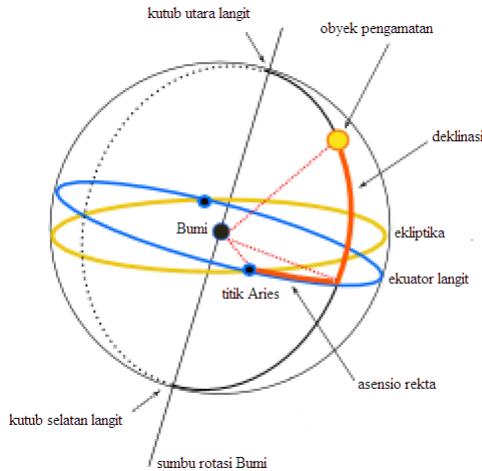
Koordinat ekuator merupakan pemetaan posisi benda langit menggunakan acuan bidang ekuator langit, yakni bidang datar yang mengiris bumi menjadi dua

⁶⁸ Lihat A.E. Roy, *Principles...*, hlm. 52.

bagian melewati garis khatulistiwa. Pada dasarnya sistem ekuator merupakan pengembangan ke arah langit dari sistem koordinat bola Bumi, dimana ekuator Bumi menjadi ekuator langit dan kutub Bumi menjadi kutub langit.⁶⁹

Terdapat dua jenis koordinat ekuatorial, yang pertama adalah sistem Asensio rekta (RA atau α) dan Deklinasi (Dec atau δ), bentuk kedua koordinat ekuatorial yakni sistem Hour Angle (HA) dan Deklinasi (Dec atau δ).⁷⁰

a. Sistem Asensio rekta (α) dan Deklinasi (δ)



Gambar 3.2. Bola langit sistem equator Aksensio rekta dan Deklinasi

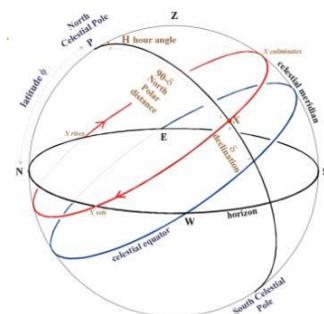
⁶⁹ Lihat Muhammad Hadi Bashori, *Pengantar Ilmu Falak*, Jakarta Timur: Al-Kautsar, 2015, hlm. 72.

⁷⁰ Lihat K. J. Villanueva, *Astronomi Geodesi I*, Bandung: Departemen Geodesi ITB, 1978, hlm. 12-13.

Pemetaan dengan sistem ini menghasilkan koordinat benda langit dengan nilai Asensioekta dan Deklinasi. Deklinasi yaitu ketinggian sebuah benda langit diukur dari ekuator langit. Ke arah Kutub Langit Utara⁷¹ positif, dan sebaliknya negatif. Nilai deklinasi berkisar dari $+90^\circ$ hingga -90° .

Sedangkan Asensioekta yaitu posisi benda langit diukur sepanjang ekuator langit dari titik Aries, bernilai positif bila diukur berlawanan arah dengan putaran bola langit dan pergerakan bintang-bintang.⁷² Misalnya bila Bintang-bintang terbit di timur dan tenggelam di barat maka asensioekta diukur dari barat ke timur di langit. Nilai asensioekta dari 0° hingga 360° atau 0 jam hingga 24 jam.

b. Sistem Hour Angle (HA) dan Deklinasi (δ)



Gambar 3.3 Bola langit sistem koordinta ekuator Hour Angle dan Deklinasi

⁷¹ Kutub langit utara (KLU) tepat diatas kutub Bumi utara. Lihat Ahmad Musonnif, *Ilmu Falak...*, hlm. 40.

⁷² Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu...*, hlm. 54.

Sistem ini sedikit berbeda dengan sistem Asensiorekta-Deklinasi, perbedaannya yakni sistem ini menggunakan titik sigma (Σ) yaitu titik perpotongan ekuator langit dengan meridian pengamat/ bujur pengamat yaitu lingkaran besar yang melalui titik Utara, Zenith, dan Selatan. Berbeda dengan Sistem Asensiorekta-Deklinasi yang menggunakan titik Aries.⁷³

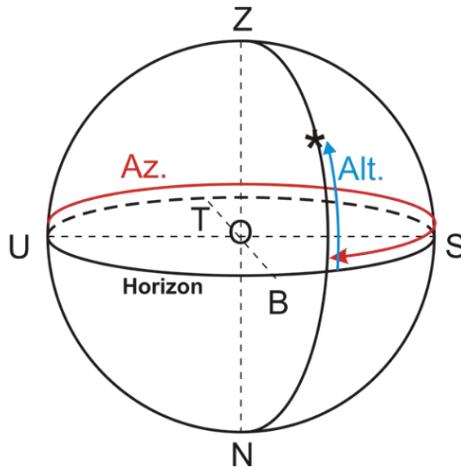
Hour Angle diukur dari titik sigma sepanjang ekuator langit, positif apabila searah dengan putaran bola langit dan pergerakan bintang (otomatis berlawanan dengan arah asensiorekta). *Hour Angle* bernilai 0 sampai 24 jam, atau +12 jam hingga -12 jam.

2. Sistem Koordinat Horizon

Pada koordinat ini, pusat koordinat adalah posisi pengamat (bujur dan lintang) yang terletak di permukaan bumi. Ketika pengamat melihat ke atas maka seolah-olah pengamat diselebungi oleh bola horizon. Dapat disimpulkan bahwa setiap pengamat di tempat berbeda akan memiliki bola horizon yang berbeda pula.⁷⁴

⁷³ Lihat K. J. Villanueva, *Astronomi...*, hlm. 13.

⁷⁴ Lihat Slamet Hambali, *Ilmu Falak 1*, Semarang: Pascasarjana IAIN Waliosngo, 2011, hlm. 50.



Gambar 3.4 Bola langit sistem koordinat Horizon

Keterangan:

Z = Titik Zenith, titik yang berada tepat diatas pengamat.

N = Titik Nadir, titik yang berada tepat dibawah pengamat.

U, T, S, B = titik-titik cardinal atau titik-titik arah mata angin. Berturut-turut ialah arah Utara, Timur, Selatan, dan Barat.

Sedangkan Koordinat horizon terdiri atas:

- 1) Altitude yaitu ketinggian benda diatas horizon, positif kearah zenith, negatif kearah nadir. Nilanya berkisar dari $+90^\circ$ hingga -90° . Misalkan benda yang berada tepat di titik Zenith akan mempunyai altitude 90° , dan benda yang berada tepat di horizon altitudenya 0° . Perlu diingat bahwa salah satu syarat

suatu bintang terlihat (bagi pengamat dengan ketinggian 0 meter) ialah memiliki altitude positif.

- 2) Azimuth yaitu jarak yang dihitung dari titik utara sampai dengan lingkaran vertikal yang dilalui oleh benda langit tersebut melalui lingkaran ufuk atau horison searah perputaran jarum jam. Nilainya berkisar dari 0° hingga 360° .⁷⁵

D. Sistem Transformasi Koordinat

Suatu sistem koordinat dengan sistem koordinat lainnya dapat dihubungkan melalui transformasi koordinat. Misalnya, dari algoritma untuk menghitung posisi Bulan menurut sistem koordinat ekliptika geosentrik, kita dapat menentukan jarak Bulan dari Pusat Bumi, sudut *lambda* (bujur ekliptika) dan *beta* (lintang ekliptika). Selanjutnya, sudut *lambda* dan *beta* ditransformasi untuk mendapat sudut *alpha* (Aksensioekta) dan *delta* (deklinasi) dalam sistem koordinat ekuator geosentrik. Dari *alpha* dan *beta*, serta memperhitungkan posisi pengamat (bujur dan lintang) dan waktu saat pengamatan/perhitungan, maka sudut ketinggian (altitude) dan azimuth Bulan menurut sistem koordinat horizon dapat diketahui dengan tepat.⁷⁶

⁷⁵ Slamet Hambali, *Ilmu Falak...*, hlm. 52.

⁷⁶ Lihat Rinto Anugraha, *Mekanika Benda...*, hlm. 55.

1. Transformasi Koordinat dari Ekliptika (Lambda, Beta) ke Ekuator (Alpha, Delta)

Transformasi koordinat dari ekliptika ke ekuator berarti mengubah nilai lambda (Bujur Ekliptika) dan beta (lintang ekliptika) dalam koordinat ekliptika yang diketahui sebelumnya menjadi Alpha (asensio rekta) dan delta (deklinasi) dalam koordinat ekuator. Perubahan nilai ini diperlukan agar mendapatkan data deklinasi atau aksensio rekta.

Sebagaimana misalnya algoritma Jean Meeus dalam mencari posisi Matahari, maka setelah melalui beberapa suku koreksi yang nantinya akan menghasilkan data lintang ekliptika dan bujur ekliptika Matahari. Data ini kemudian perlu ditransformasikan kedalam koordinat ekuator guna mencari nilai tinggi Matahari.

Rumus transformasi Koordinat dari koordinat dari Ekliptika (Lambda, Beta) ke Ekuator (Alpha, Delta) adalah sebagai Berikut:⁷⁷

$$\lambda = \text{Lambda}, \beta = \text{beta}$$

$$\alpha = \text{alpha}, \delta = \text{delta}$$

$$\varepsilon = \text{epsilon}$$

$$\tan \alpha = \frac{\sin \lambda \cos \varepsilon - \tan \beta \sin \varepsilon}{\cos \lambda}$$

$$\sin \delta = \sin \beta \cos \varepsilon + \sin \lambda \cos \beta \sin \varepsilon$$

⁷⁷ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda...*, hlm. 57. Lihat juga Jean Meeus, *Astronomical Algorithm*, Virginia: Willman-Bell, hlm. 89

2. Transformasi Koordinat dari Ekuator (Alpha, Delta) ke Ekliptika (Lambda, Beta)

Transformasi ini bertujuan untuk mendapatkan nilai Lambda dan beta, dimana nilai asensiorekta dan deklinasi diketahui terlebih dahulu. Dengan kata lain transformasi ini kebalikan dari transformasi koordinat sebelumnya. Rumus Transformasi Koordinat dari Ekuator (Alpha, Delta) ke Ekliptika (Lambda, Beta) adalah:⁷⁸

$$\tan(\lambda) = \frac{\sin(\alpha) \cos(\varepsilon) + \tan(\delta) \sin(\varepsilon)}{\cos(\alpha)}$$

$$\sin(\beta) = \sin(\delta) \cos(\varepsilon) - \sin(\alpha) \cos(\delta) \sin(\varepsilon).$$

3. Transformasi Koordinat dari Ekuator (Alpha, Delta) ke Horison (h (tinggi), Azm (Azimuth))

Pengamat di bumi ingin mengetahui posisi benda langit dalam bentuk ketinggian tersebut dari horizon dan arahnya. Dalam hal ini digunakan sistem koordinat horizon dengan koordinat h dan A. Sudut h adalah ketinggian benda langit tersebut dari permukaan horizon. Jika benda tersebut diatas horizon maka sudut h positif. Sebaliknya jika benda tersebut dibawah horizon, maka sudut h negatif. Sudut antara arah utara

⁷⁸ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda...*, hlm. 58. Lihat juga Jean Meeus, *Astronomical...*, hlm. 89.

dengan proyeksi posisi benda langit ke horizon adalah sudut azimuth (A).⁷⁹

Dari sudut Alpha (Aksensioirekta) di ekuator geosentrik, biasanya dicari dahulu HA (*hour angle*). Hubungan antara HA dan Alpha adalah:

$$HA = LST^{80} - \text{Alpha}$$

Rumus transformasi koordinat dari Ekuator (Alpha, delta) ke Horison (h, A) adalah⁸¹

$$\sin h = \sin(\Theta) \sin(\delta) + \cos(\Theta) \cos(\delta) \cos(HA)$$

$$\tan(A_s) = \frac{\sin(HA)}{\cos(H) \sin(\phi) - \tan(\delta) \cos(\phi)}$$

$$A = A_s - 180$$

Salah satu rumus transformasi di atas adalah rumus mencari $\sin(h)$. rumus tersebut dapat diubah bentuknya menjadi:⁸²

$$\cos(HA) = \frac{\sin(h) - \sin(\phi) \sin(\delta)}{\cos(\phi) \cos(\delta)}$$

E. Gangguan Utama Pada Pergerakan Bumi di Ekliptika

Pada kasus eksentrisitas yang kecil, posisi sebenarnya benda langit dapat secara langsung ditemukan hanya dengan mengetahui nilai *equation of center*, metode

⁷⁹ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda...*, hlm. 60.

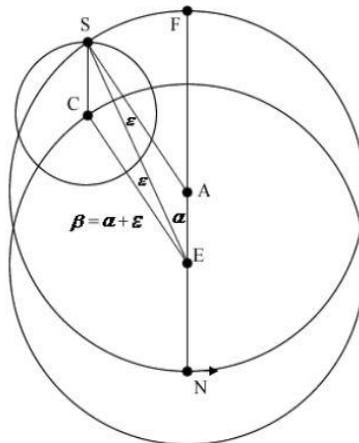
⁸⁰ *Local Sidereal Time* merupakan sudut waktu Aries.

⁸¹ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda...*, hlm. 60. Lihat juga ean Meeus, *Astronomical...*, hlm. 89.

⁸² Rinto Anugraha, *Mekanika Benda...*, hlm. 61.

ini dapat dibidang cukup akurat⁸³ walaupun diistilahkan oleh Jean Meeus dengan *Low Accuracy*.⁸⁴

Equation of center sebenarnya sudah dipakai untuk mencari posisi Matahari sejak masa Yunani Kuno. Hipparchus dan Ptolomeus menggunakan istilah *prostaphaeresis* sebagai *equation of center*, meskipun astronom pada zaman ini memahami geometri dari pergerakan Planet tidaklah sama.⁸⁵ Pada masa ini orbit pergerakan benda langit dipahami sepenuhnya berbentuk lingkaran. Sehingga hal ini membuat nilai *prostaphaeresis* atau *equation of center* kurang akurat.⁸⁶



Gambar 3.5 Geometri teori Pergerakan Matahari Ptolomeus. Sudut ϵ disebut *prostaphaeresis* dan sudut α merupakan posisi Matahari dilihat dari Bumi.

⁸³ Rinto Anugraha, *Mekanika...*, hlm. 68.

⁸⁴ Jean Meeus, *astronomical algorithm...*, hlm. 151.

⁸⁵ Jhon Narrien, *An Historical Account of the origin and Progress of Astronomy*, London: Baldwin, 1833, hlm. 230-231.

⁸⁶ Douglas W. MacDougal, *Newton's Gravity*, New York: Springer, 2012, hlm. 59.

Dalam terminologi Modern, *Equation of center* merupakan perbedaan sudut antara posisi sebenarnya benda langit pada orbit ellips dengan posisi pada orbit lingkaran dengan periode yang sama. Dengan kata lain, persamaan *equation of center* didefinisikan sebagai perbedaan true anomali (V) dikurangi anomali rata-rata (M) dinotasikan ($V - M$) dan biasanya dinyatakan dengan fungsi mean anomali (M) dan orbital eccentricity (e).⁸⁷

Istilah *equation* secara spesifik digunakan oleh Kepler dengan makna kuantitas variabel yang ditentukan dari perhitungan dengan cara menambahkan atau mengurangi dari nilai pergerakan rata-rata untuk mendapatkan pergerakan sebenarnya. Istilah *equation of center* memiliki makna yang mirip dengan *equation of time*.⁸⁸

F. Gangguan Utama Pada Pergerakan Bulan di Ekliptika

Gangguan utama pada pergerakan Bulan merupakan koreksi utama pada pergerakan Bulan di ekliptika. Pergerakan Bulan secara prinsip ditentukan oleh dua benda langit yakni Bumi dan Matahari. Walaupun jarak Bulan ke Bumi lebih dekat dari Bulan ke Matahari tetapi orbit dari Bulan mengelilingi Bumi lebih kuat dipengaruhi oleh

⁸⁷ David A vallado, *Fundamentals of Astrodynamics and Applications*, United States: Microcosm Press, 2001, hlm. 82.

⁸⁸ David A vallado, *Fundamentals...*, hlm. 89.

gravitasi Matahari. Hal ini disebabkan karena masa Matahari jauh lebih besar dari masa Bumi, sehingga gaya tarik (gravitasi) Matahari lebih besar ke Bulan dari pada Bumi.⁸⁹

Bulan memiliki bentuk orbit ellips dengan eksintrisitas sebesar $e = 0.055$ dan inklinasi sebesar 5.1° . Periode orbit Bulan dari perige ke perige (disebut anomalistik Bulan) sekitar 27.55 hari. Periode anomalistik Bulan kurang dua (2) hari antara fase Bulan baru ke Bulan baru selanjutnya yang disebut Bulan sinodis dengan durasi 29.53 hari.⁹⁰

Karena Pengaruh gravitasi Matahari yang besar, pergerakannya yang cepat relatif dilihat dari Bumi dan nilai eksintrisitas Bulan yang cukup besar, maka suku koreksi untuk menentukan posisi Bulan dengan ketelitian sangat akurat sampai ribuan suku koreksi dengan menggunakan algoritma ELP-2000⁹¹ dan ratusan suku koreksi untuk algoritma Jean Meeus⁹².

Namun Secara prinsip gangguan utama atau suku koreksi utama pada pergerakan Bulan berjumlah enam koreksi yakni *major inequality, evection, variation, annual*

⁸⁹ Oliver Motenbruck, *Astronomy on the Personal Komputer*, New York: Springer, 2000, hlm. 151.

⁹⁰ Oliver Motenbruck, *Astronomy...*, hlm. 151.

⁹¹ ELP-2000 merupakan singkatan dari *Ephemerides Lunaires Parisiennes* yang mendeskripsikan teori peredaran Bulan baru dan menjabarkan keakuratan perhitungannya. Lihat Jean Meeus, *astronomical algorithm...*, hlm. 260.

⁹² Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 309.

inequality, *reduction to the ecliptic*, dan *parallactic inequality*.⁹³ Enam suku koreksi ini merupakan model sederhana dari teori pergerakan Bulan modern dan dikembangkan oleh Ernest w. Brown.⁹⁴

1. *Major inequality* atau Bentuk orbit Bulan

Koreksi yang pertama *major inequality* tidak berhubungan dengan pengaruh Matahari, tetapi semata-mata disebabkan karena bentuk orbit Bulan yang ellips. Karena eksentrisitas orbit Bulan, Bulan bervariasi hingga 6.3° dari posisi rata-rata. Persamaan *major inequality* mengikuti persamaan *equation of center* dari orbit planet.⁹⁵

Nilai dari *major inequality* ditentukan dari nilai anomali Bulan. Anomali Bulan mewakili percepatan Bulan ketika jaraknya dari Bumi berkurang saat bergerak ke arah perigee dan kemudian melambat saat jaraknya dari Bumi meningkat saat bergerak menuju apogee. Ketidaksamaan elips ini merupakan gangguan pergerakan Bulan yang paling besar.

2. *Evection* atau Eveksi

Evection atau eveksi merupakan ketidaksetaraan terbesar yang dihasilkan oleh gangguan Matahari dalam revolusi Bulan mengelilingi Bumi selama satu

⁹³ Lihat Jhon Couch Adams, *Lectures on The Lunar Theory*, London: Cambridge University Press, 1900, hlm. 18-40.

⁹⁴ Rinto Anugraha, *Mekanika ...*, hlm. 99.

⁹⁵ Oliver Motenbruck, *Astronomy...*, hlm. 152.

Bulan. Gangguan Eveksi pada pergerakan Bulan sudah ditemukan pada zaman terlebih dahulu oleh Ptolomeus yang disebut dengan anomaly kedua Bulan.

Eveksi ini menyebabkan garis bujur ekliptika Bulan bervariasi sekitar 1.274° (derajat) dengan periode sekitar 31.8 hari. *Evection* pada longitude dinyatakan dengan persamaan $+4586.45'' * \sin(2D - M')$. Dimana D merupakan elongasi rata-rata Bulan dari Matahari dan M' merupakan anomali rata-rata Bulan.⁹⁶

3. *Variation* atau Variasi

Variasi Bulan adalah salah satu gangguan utama dalam gerakan Bulan. Variasi ini ditemukan oleh Tycho Brahe yang memperhatikan ketika gerhana gerhana Bulan terjadi pada Desember 1590, kecepatan gerak Bulan yang tampak di sepanjang orbitnya terlihat di latar belakang bintang lebih cepat dari yang diperkirakan. Di sisi lain, pada saat kuartal pertama dan terakhir, kecepatannya lebih lambat dari yang diharapkan.⁹⁷

Variasi merupakan percepatan Bulan ketika mendekati Bulan baru dan Bulan purnama dan melambat ketika mendekati kuartal pertama dan terakhir. Variasi ini disebabkan oleh gaya tarik Matahari dan salah satu efeknya adalah mengubah

⁹⁶ Oliver Motenbruck, *Astronomy...*, 153.

⁹⁷ *Ibid.*

orbit Bulan dengan cara yang praktis berbentuk ellips. Dengan pusat ellips ditempati oleh Bumi dan sumbu utama tegak lurus terhadap garis yang ditarik antara bumi dan Matahari. penjelasan gravitasinya dengan estimasi kuantitatif pertama kali diberikan oleh Newton.⁹⁸

Variasi memiliki periode setengah Bulan sinodis dan menyebabkan bujur ekliptika Bulan bervariasi hampir dua pertiga derajat, lebih tepatnya dengan $+2370'' \sin(2D)$, dimana D adalah elongasi rata-rata Bulan dari Matahari.⁹⁹

4. *Annual inequality* atau Persamaan tahunan

Persamaan tahunan ditemukan oleh Tycho Brahe, secara kualitatif dijelaskan oleh Newton dalam hal bahwa orbit Bulan menjadi sedikit diperluas dalam ukuran dan lebih lama dalam periode ketika Bumi berada pada perihelion yang paling dekat dengan Matahari pada awal Januari karena efek gangguan Matahari paling besar waktu ini. kemudian sedikit berkontraksi dalam ukuran dan lebih pendek pada periode ketika Matahari paling jauh di awal Juli, sehingga efek gangguannya lebih lemah.¹⁰⁰

⁹⁸ Jhon Couch Adams, *Lectures on The Lunar Theory...*, hlm. 42.

⁹⁹ *Ibid.*

¹⁰⁰ Oliver Motenbruck, *Astronomy...*, hlm. 153.

Oleh karena itu, nilai untuk gangguan *annual inequality* pada Bulan ditentukan dari nilai anomali rata-rata Matahari.

5. *Reduction to ecliptic* atau Kemiringan orbit Bulan

Reduksi ke ekliptik merupakan efek geometris dari pengekspresian gerak Bulan dalam garis bujur di bidang ekliptika, meskipun gerakannya benar-benar terjadi di bidang orbit Bulan dengan kemiringan sekitar 5 derajat.¹⁰¹

Pada abad ke-18, gangguan posisi Bulan pada garis bujur menggunakan sekitar 25-30 suku koreksi dengan trigonometri. Namun pada abad ke-19 dan ke-20 menghasilkan rumusan teori yang sangat berbeda, sehingga istilah-istilah trigonometri sebelumnya tidak berlaku. Jumlah suku koreksi yang diperlukan untuk menentukan posisi Bulan yang dicari pada awal abad kedua puluh adalah lebih dari 1400 koreksi dan jumlah suku koreksi yang diperlukan untuk meniru akurasi integrasi numerik modern berdasarkan pengamatan rentang laser ada dalam puluhan ribu. Sebenarnya tidak ada batasan untuk peningkatan jumlah persyaratan yang dibutuhkan karena persyaratan akurasi meningkat.

¹⁰¹ Jhon Couch Adams, *Lectures on The Lunar Theory...*, hlm. 44.

6. *Paralactic inequality* atau Ketidaksamaan paralaks

Ketidaksamaan paralaks pertama kali ditemukan oleh Newton, membuat gangguan variasi (yang ditemukan Tycho Brahe) sedikit asimetris sebagai akibat dari jarak terbatas dan paralaks Matahari yang tidak bernilai nol. Efek dari ketidaksamaan paralaks adalah Bulan sedikit tertinggal di kuartal pertama dan sedikit di depan pada kuartal terakhir.¹⁰²

Komponen untuk mendapatkan nilai ketidaksamaan paralaks adalah elongasi rata-rata Bulan dari Matahari. Persamaannya adalah $-125'' \times \sin(D)$.¹⁰³

G. Sistem Penanggalan Julian Day dan Epoch J2000

Sistem Julian Day muncul karena adanya perubahan dari kalender Julian menjadi Gregorian membuat kesulitan tersendiri untuk membandingkan peristiwa astronomis yang terpisah dalam jangka waktu cukup lama. Untuk mengatasi masalah ini, diperkenalkan Julian Day. Julian Day (JD) didefinisikan sebagai banyaknya hari yang dilalui sejak hari senin tanggal 1 Januari tahun 4713 SM (sebelum Masehi) pada pertengahan hari atau pukul 12:00:00

¹⁰² Oliver Motenbruck, *Astronomy...*, hlm. 153

¹⁰³ *Ibid.*

UT (Universal Time) atau GMT. Tahun 4713 SM tersebut dapat dinyatakan juga dengan tahun -4712 .¹⁰⁴

Metode untuk menghitung Julian Day untuk tanggal (D) – Bulan (M) – tahun (Y) tertentu sebagai berikut:¹⁰⁵

- Tahun adalah Y (Y dapat pula negatif, asalkan tidak lebih kecil dari -4712)
- Nomor Bulan adalah M, dimana $M=1$ untuk Januari, $M=2$ untuk Februari dan seterusnya, hingga $M=12$ untuk Desember.
- Nomor hari/tanggal adalah D. D dapat pula berbentuk pecahan. Namun perlu diperhatikan bahwa nilai maksimal D harus menyesuaikan dengan Bulan M. sebagai contoh, jika $M=4$ (April), maka D tidak mungkin sama dengan 31.
- Jika $M > 12$, M dan Y tidak berubah. Jika $M=1$ atau 2 , ganti M menjadi $M+12$ dan Y menjadi $Y-1$. Dengan kata lain, Bulan Januari dan Februari dapat dianggap sebagai Bulan ke 13 dan ke 14 dari tahun sebelumnya.
- Untuk kalender Gregorian, hitung $A = \text{INT}(Y/100)$ dan $B = 2 + \text{INT}(A/4) - A$.
- Untuk kalender Julian, A tidak perlu dihitung, sedangkan $B = 0$.
- Julian Day dirumuskan sebagai $JD = 1720994.5 + \text{INT}(365.25*Y) + \text{INT}(30.6001(M+1)) + B + D$.

¹⁰⁴ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda langit...*, hlm. 8.

¹⁰⁵ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda langit...*, hlm. 9.

Selain menggunakan rumus diatas, Julian Day juga dapat dihitung dengan menggunakan tabel.¹⁰⁶

Tahun Abad	JD
1800	2378496
1900	2415020
2000	2451544
2100	2488069

Tabel 3.1 Tahun Abad Julian

Tahun	JD	Tahun	JD	Tahun	JD	Tahun	JD	Tahun	JD
0	0	20	7305	40	14610	60	21915	80	29220
1	366	21	7671	41	14975	61	22280	81	29585
2	731	22	8036	42	15341	62	22646	82	29951
3	1096	23	8401	43	15706	63	23011	83	30316
4	1461	24	8766	44	16071	64	23376	84	30681
5	1827	25	9131	45	16436	65	23741	85	31046
6	2192	26	9497	46	16802	66	24107	86	31412
7	2557	27	9862	47	17167	67	24472	87	31777
8	2922	28	10227	48	17532	68	24837	88	32142
9	3288	29	10592	49	17897	69	25202	89	32507
10	3653	30	10958	50	18263	70	25568	90	32873
11	4018	31	11323	51	18628	71	25933	91	33238
12	4383	32	11688	52	18993	72	26298	92	33603
13	4749	33	12053	53	19358	73	26663	93	33968
14	5114	34	12419	54	19724	74	27029	94	34334
15	5479	35	12784	55	20089	75	27394	95	34699
16	5844	36	13149	56	20454	76	27759	96	35064
17	6210	37	13514	57	20819	77	28124	97	35429
18	6575	38	13880	58	21185	78	28490	98	35795
19	6940	39	14245	59	21550	79	28855	99	36160
								100	36525

Tabel 3.2. Konversi Satuan Tahun JD.¹⁰⁷

¹⁰⁶ James Evans, *The History and Practice of Ancient Astronomy*, New York: Oxford University Press, 1998. hlm. 173.

¹⁰⁷ James Evans, *The History and...*, hlm. 173

Day	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	285	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29	*	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30		89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31		90		151		212	243		304		365

Tabel 3.3. konversi Satuan hari JD¹⁰⁸

Acuan dalam pembuatan tabel ini yakni 31 desember akhir tahun abad jam 12 UT. Semisal untuk Julian Day abad 2000, untuk abad 2000 seharusnya bernilai 2451545, namun karena acuan

¹⁰⁸ James Evans, *The History and...*, hlm. 173

dalam pembuatan tabel ini adalah akhir tahun abad yakni 31 desember 1999 jam 12 UT, sehingga nilai Julian Day menjadi 2451544.¹⁰⁹

Nilai julian day 2451545 dihitung dari tanggal 1 Januari tahun 2000 jam 12 UT, sehingga jika menggunakan tabel diatas maka untuk mencari nilai Julian Day tanggal 1 Januari 2000, nilai 2451544 ditambah 1 untuk tanggal 1 januari.

Untuk mempermudah memahami, tabel tersebut dicoba untuk mencari tanggal dari nilai JD 2454385.

	Nilai JD	Keterangan
JD Dicari	2454385	
JD Abad 2000	2451544	Dikurangi
Sisa	2841	
Tahun 7	2557	Dikurangi
Sisa	284	
11 Oktober	284	Habis
Tanggal	11 Oktober 2007	
Hasil perhitungan dengan menggunakan rumus pertama	11 Oktober 2007	

Kemudian epoch merupakan acuan waktu atau titik refrensi yang digunakan dalam perhitungan. J2000 merupakan kepanjangan dari julian untuk abad 2000. Titik acuan perhitungan yakni 1 Januari tahun 2000 pukul 12:00 TT (*Terrestrial Time*)¹¹⁰.

¹⁰⁹ James Evans, *The History...*, hlm. 172.

¹¹⁰ Terrestrial time merupakan Jam Atom. Terrestrial time mengikuti pergerakan planet yang sebenarnya. Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 62.

Epoch J2000 untuk posisi Matahari sebagai berikut:¹¹¹

$\Delta\lambda_0$	ΔM_0	J2000
280:27:39	357:31:45	2451545.0

Kemudian Epoch J2000 untuk posisi Bulan sebagai berikut:¹¹²

$\Delta\lambda$ (°)	ΔM (°)	ΔF (°)	ΔD (°)	J2000
218:24:54	134:55:15	93:16:20	297:50:25	2451545.0

¹¹¹ Lihat Jean Meeus, *Astronomical....*, hlm. 121.

¹¹² Lihat Jean Meeus, *Astronomical....*, hlm. 253.

BAB IV

INSTRUMENTASI DAN ZIJ ASTRONOMI KLASIK

A. Klasifikasi Instrumentasi Astronomi Abad Pertengahan

Klasifikasi instrumen pada abad pertengahan dapat dikategorikan berdasarkan fungsinya sebagai berikut:¹¹³

1. Fungsi Observasi

Instrumen ini pada prinsipnya digunakan untuk mengamati fenomena benda langit dan memahami pergerakan benda langit melalui instrumen. Yang termasuk dalam instrumen ini adalah *Cross-staffs*, Astrolabe dan teleskop.

2. Fungsi Mengukur Jarak dan Posisi

Instrumen ini dibuat dengan konsep geometri untuk menentukan jarak benda langit dari pengamat dan alat untuk mengukur posisi. Biasanya instrumen dengan fungsi ini dibuat permanen di dalam menara dan bangunan besar. *Cross-Staffs* dan astrolabe juga masuk dalam fungsi ini.

3. Fungsi Mengukur Waktu

Instrumen yang dikhususkan untuk penentuan waktu biasanya menggunakan gnomon untuk membidik Matahari. Waktu kemudian ditunjukkan oleh panjang

¹¹³ Jian-Liang Lin, *Decoding the Mechanism of Antikythera Astronomical Device*, London: Springer, 2016, hlm. 21.

bayangan Matahari. Instrumen yang biasanya digunakan oleh orang dulu untuk menentukan waktu adalah *sundial*.

4. Fungsi Perhitungan

Instrumen perhitungan dalam sejarah perkembangan instrumen astronomi klasik untuk fungsi perhitungan biasanya melibatkan komponen lain dalam instrumen tersebut. Komponen lain yang dimaksud adalah komponen kalender ataupun komponen lainnya. Instrumen yang dikategorikan sebagai instrumen hitung adalah *equatorium*, *Antykhiera*, dan lain-lain.

5. Fungsi Demonstrasi

Dalam sejarah instrumen klasik, Instrumen astronomi tidak hanya berfungsi untuk menghitung ataupun mengobservasi, tetapi astronomer dulu juga membuat instrumen untuk fungsi demonstrasi (simulasi). Instrumen ini biasanya digunakan untuk lebih memahami pergerakan langit. Instrumen yang termasuk dalam jenis ini adalah *Armillary Spheres*, *Orreries*, dan lain-lain.

B. Instrumen Klasik Perhitungan Posisi Matahari, Bulan, dan Planet-planet

Instrumen klasik yang berfungsi untuk menentukan posisi Matahari, Bulan, dan Planet-planet dalam sistem tata surya jumlahnya lebih sedikit dibandingkan dengan

instrumen penentuan posisi Matahari. Instrumen yang berfungsi untuk menentukan posisi benda langit yang masuk dalam sistem tata surya disebut *equatorium*.¹¹⁴

Instrumen ini menghasilkan data koordinat pada ekliptika untuk posisi Matahari, Bulan, dan Planet-planet. Instrumen equatorium memiliki model yang beragam dan bentuk yang bervariasi. Namun secara umum equatorium menggunakan teori *Epicyle*¹¹⁵ dan *Deferent*¹¹⁶ Ptolomeus dan dibantu dengan *zij* (tabel astronomi) dalam perhitungan posisi benda langit.¹¹⁷

Sebagai contoh equatorium yang sudah terdapat dalam bentuk digital adalah *equatorie of the planetis* karya Derek J. Price pada tahun 1951 M. Versi digital ini dibuat oleh peterhouse cambridge university.¹¹⁸

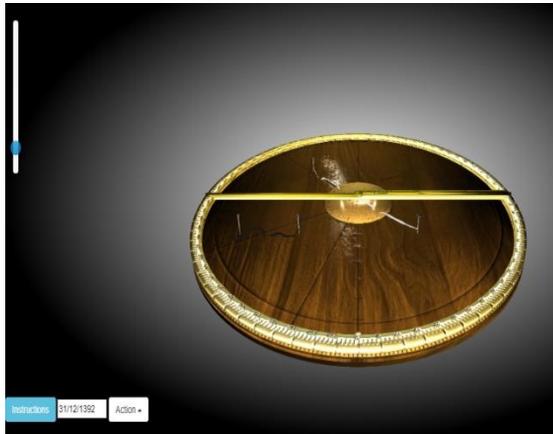
¹¹⁴ Lihat Fuad Sezgin, *Science and Technology in Islam*, Germany: the Institute for the History of Arabic-Islamic Science, Volume II, 2010, hlm. 194-200.

¹¹⁵ Lingkaran epicycle berarti lingkaran kecil di busur lingkaran deferent, lihat Precious Andrew, *The Mathematics of the epicycloid: a historical journey with a modern perspective*, Thesis Master of Science Mathematics The University of New Mexico Agustus 2009, hlm. 1.

¹¹⁶ lingkaran deferent merupakan lingkaran besar. Lihat Precious Andrew, *The Mathematics...*, hlm. 1.

¹¹⁷ *Ibid.*

¹¹⁸ Peterhouse adalah perguruan tinggi konstituen dari Universitas Cambridge. Peterhouse merupakan Perguruan tinggi tertua di universitas, yang didirikan pada 1284 oleh Hugo de Balsham, Uskup Ely, dan diberikan piagamnya oleh King Edward I. Lihat <https://www.pet.cam.ac.uk/> diakses pada 5 juli 2019 jam 12.00 WIB



Gambar 4.1. *Equatorie of the planetis* versi digital¹¹⁹

Untuk mendapatkan nilai bujur ekliptika Matahari, Bulan, Planet-planet dengan versi digital ini kita hanya perlu mengatur waktu perhitungan yang kita inginkan. Hasil perhitungan akan ditunjukkan secara digital.

C. Proyeksi Bola Langit Pada Instrumen

Proyeksi Bola langit pada bidang datar disebut dengan proyeksi Stereografik. Proyeksi stereografik berfungsi untuk merepresentasikan permukaan bola pada sebuah bidang datar. Dalam bentuk umum dari proyeksi stereografik, suatu sinar berasal dari suatu titik pada permukaan bola yang akan diproyeksikan dan diarahkan ke titik lain di permukaan bola. Titik proyeksi terletak pada

¹¹⁹ Lihat <http://cudl.lib.cam.ac.uk/models/equatorie/> diakses pada 5 juli 2019 jam 12.00 WIB

titik di mana sinar melewati bidang tegak lurus terhadap diameter yang berasal dari proyeksi dan memotong bola.¹²⁰

Bidang proyeksi dapat berada di mana saja di dalam atau bersinggungan dengan bola selama itu tegak lurus terhadap sumbu bola yang ditentukan oleh asal proyeksi. Bidang proyeksi didefinisikan oleh lingkaran besar atau garis singgung bola di sebagian besar aplikasi stereografik proyeksi.¹²¹

Asal usul proyeksi disebut aspek. Aspeknya mungkin pada titik yang ditentukan dari titik a pada fisik bola, seperti salah satu kutub atau ekuator Bumi, atau titik yang ditentukan pada permukaan konstruksi abstrak seperti bola langit. Penerapan teori matematika sedikit berbeda tergantung pada lokasi bidang proyeksi, tetapi sifat dasar proyeksi adalah sama.¹²²

Proyeksi stereografi memiliki dua karakteristik sangat berharga untuk aplikasi astronomi:¹²³

- Lingkaran pada bola diproyeksikan sebagai lingkaran pada bidang proyeksi atau (perpanjangan lingkaran).
- Sudut pada bola dipertahankan pada proyeksi (kesesuaian)

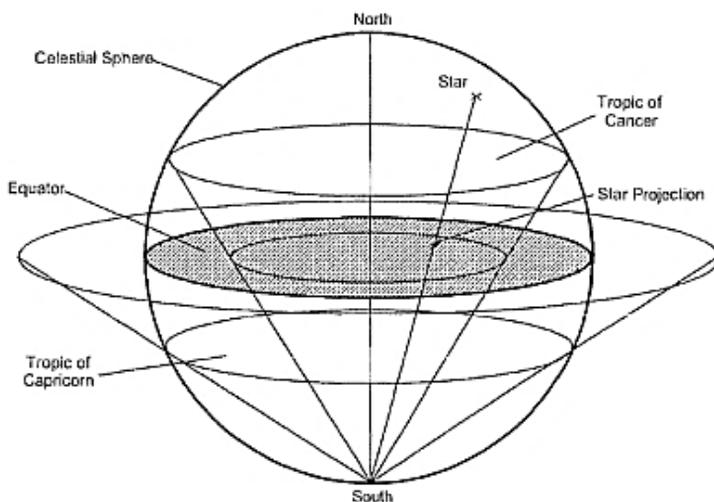
¹²⁰ James E. Morrison, *The Astrolabe*, United America State: Janus, 2006, hlm. 45.

¹²¹ James E. Morrison, *The Astrolabe...*, hlm. 45.

¹²² James E. Morrison, *The Astrolabe...*, hlm. 46.

¹²³ James E. Morrison, *The Astrolabe...*, hlm. 46

Karakteristik proyeksi stereografik tersebut ideal untuk astronomi karena sebagian besar posisi langit digambarkan sebagai sudut diukur pada busur lingkaran.¹²⁴ Kerugian dari proyeksi stereografik adalah distorsi dalam ukuran objek yang jauh dari kutub proyeksi.



Gambar 4.2. Prinsip proyeksi stereografik

D. Karakteristik Zij Astronomi Abad Pertengahan

Kata *zij* berasal dari bahasa dan budaya Persia yang berarti tabel-tabel astronomi. Dalam bahasa Arab *zij* disebut juga dengan *Az-zaij* atau *al-azyaj*. Dalam terminologi klasik, *zij* adalah daftar astronomi hasil observasi dan kalkulasi (hisab) para astronom terhadap benda-benda langit. Observasi dan kalkulasi benda-benda langit itu meliputi gerak, jarak dan posisi harian. Selain itu,

¹²⁴ James E. Morrison, *The Astrolabe...*, hlm. 47.

tradisi tabelisasi astronomi ini menjadi karya populer pada abad pertengahan peradaban Islam yang dipengaruhi oleh tiga tradisi astronomi pra Islam: Persia, Yunani, dan India. Dari tradisi Persia melalui *Zij Shahriyar*, dari tradisi India melalui *Sindhind*, dan tradisi Yunani melalui *Almagest* karya Ptolomeus.¹²⁵

Data-data yang terdokumentasi dalam sebuah *zij* umumnya adalah data gerak dan posisi benda-benda langit tertentu sesuai dengan keinginan pembuatnya dan lokasi tertentu. Benda-benda langit yang umum didokumentasikan adalah Saturnus, Jupiter, Mars, Venus, Merkurius, Bulan dan Matahari. Data-data benda langit ini tersusun biasanya berdasarkan penanggalan tertentu. Pergerakan harian, Bulanan, dan tahunan benda langit yang disusun dalam sebuah *zij* mengikuti penanggalan yang dipakai oleh penyusunnya. Selain itu, data-data tersebut juga tersusun dalam standar jam, derajat, menit dan detik yang ditulis secara teratur dan berurutan.¹²⁶

Berdasarkan penelitian David A. King dan Julio Samsó terdapat beberapa karakteristik dari sebuah *Zij* yakni:¹²⁷

¹²⁵ Arwin Juli Rakhmadi Butar-Butar, *Khazanah Astronomi Islam Abad Pertengahan*, Purwokerto: UMP Press, 2016, hlm. 435.

¹²⁶ Arwin Juli Rakhmadi Butar-Butar, *Khazanah...*, hlm. 435

¹²⁷ David A. King dan Julio Samsó, "Astronomical Handbooks and Tables from the Islamic World (750-1900): an Interim Report", *jurnal Suhayl* Vol 2 tahun 2001, hlm. 9.

- a. Sexagesimal alphanumerical notation = notasi sistem angka 60
Sistem penomoran dalam sebuah zij biasanya mengikuti aturan sexadesimal atau sistem enam puluh.
- b. Tabel Konversi Kalender dan Kronologis
- c. Tabel Trigonometri
- d. Tabel Fungsi Astronomi Bola
- e. Tabel Pergerakan Rata-rata Planet, Equation, dan lintang
- f. Planetary stations and visibility
- g. Tabel Parallax dan Gerhana dari Matahari dan Bulan
- h. Tabel Visibilitas Hilal
- i. Tabel Koordinat Geografis
- j. Katalog Bintang-Bintang
- k. Tabel Matematis astrologi

BAB V
ALGORITMA DAN KONSTRUKSI INSTRUMENT
EQUATORUM AL-KASHI AL-KASHI

A. Biografi Intelektual al-Kashi

Kashi adalah salah satu ilmuwan paling ulung dan paling produktif di Observatorium Samarkand. Observatorium ini merupakan salah satu lembaga ilmiah yang terkemuka pada abad ke-15. Kashi lahir di kota Kashan bagian Iran utara dan dia telah lama menyukai bidang Astronomi. Profesi awalnya menjadi seorang Dokter (seperti mana ia menyebutkan pada akhir *Risala dar sharh-i alat-i rasd*), ia menyebutkan dalam *Zijnya* bahwa ia hidup dalam kemiskinan di berbagai kota di Iran tengah, sebagian besar di kota kelahirannya.¹²⁸

Kashi pertama kali menemukan perlindungan di Herat istana Shah Rukh yang dijuluki *putra Timur* sekaligus merupakan ayah dari Ulugh Beg. Pada 2 Juni 1406 M, Kashi kembali ke kota kelahirannya Kashan dan menyaksikan gerhana Bulan, seperti yang ia lakukan pada 1407 dan juga pada tahun 1416 saat itu ia menyajikan bukunya *Nuzha*. Antara tahun 1417 dan 1419, Kashi diundang ke Samarkand oleh Ulugh Beg.¹²⁹

¹²⁸ Thomas Hockey, *Biographical Encyclopedia of Astronomer*, New York: Springer, 2007, hlm. 613.

¹²⁹ Maya Mitkova, "al-Kashi Doubbed as Second Ptolemy", dalam *Arab Times* tanggal 22 November 2013 hari Jumat, hlm. 12.

Sekitar tahun 1420, al-Kashi melakukan perjalanan panjang ke bagian utara Samarkand, dimana disana dia bergabung dengan kelompok saintis di kediaman pangeran. Di bawah sponsor Ulugh Beg, Kashi akhirnya mendapatkan posisi yang aman dan terhormat menjadi kolaborator dan konsultan sang pangeran. Pada bagian pendahuluan *zij* Ulugh Beg, al-Kashi mendapatkan pujian.¹³⁰

Ketika observatorium didirikan pada tahun 1420, al-Kashi mengambil bagian dalam konstruksi, struktural, dan ketentuannya untuk persiapan *zij* Ulugh Beg. Pada masa ini, ia juga melakukan perjalanan dengan rombongan pengiring ke Bukhara, sebagaimana yang ia sebutkan dalam surat-surat kepada ayahnya. Al-Kashi juga merupakan seorang ulama terkemuka yang terkait dengan staf terpelajarnya Ulugh Beg, dia menghabiskan sisa hidupnya sebagai ilmuwan terkemuka di Samarkand, dimana dia meninggal dengan meninggalkan pengamatan yang tidak lengkap yang diperlukan untuk *zij* Ulugh Beg.¹³¹

Pencapaian luar biasa al-Kashi di bidang astronomi yakni menghitung nilai $\sin 1^\circ$ dengan ketelitian benar sampai desimal ke 18.¹³² Kemudian menghitung nilai π dengan ketelitian benar sampai desimal ke 16 yang pada waktu itu susah untuk dilakukan.¹³³

¹³⁰ *Ibid.*

¹³¹ *Ibid.*

¹³² Lihat Asger Aaboe, *Al-kashi Iteration Method for the determination of $\sin 1^\circ$* .

¹³³ Lihat Jan P. Hogendijk, *al-Kashi Determination of π to 16 decimals in an old manuscript*, Germany: Strauss GmbH, 2009, hlm. 79.

Ketika tinggal di Kashan, al-Kashi menulis dua risalah kecil tentang astronomi. Yang pertama bernama *Sullam al-Sama'* atau dikenal juga dengan *Risala Kamaliyya*, yang membahas tentang ukuran dan jarak benda langit. Risalah ini selesai ditulis pada 1 Maret 1407, tulisan ini didedikasikan kepada seorang wazir yang bernama Kamal al-Din Mahmud dan disimpan dalam beberapa salinan.¹³⁴ Risalah yang kedua bernama *Mukhtasar dar 'Ilm-I hayat*, sebuah ringkasan tentang astronomi yang ditulis pada 1410/1411 untuk sultan Iskandar, kemungkinan ia merupakan keponakan Syah Rukh dan sepupu Ulugh Beg. Risalah ini disimpan dalam dua manuskrip Persia di London dan Yazd.¹³⁵

Dalam bidang matematika al-Kashi memiliki karya besar diantaranya *Miftah al-Hisab* (kunci aritmatik) dan *al-risalah al-Muhitiyya* (a treatise on circumference). *Miftah al-Hisab* membahas tentang perhitungan aritmatik untuk menentukan nilai desimal, menghitung volume, luas, dan dimensi bangun ruang dan beberapa solusi matematis untuk keperluan astronomi.¹³⁶ Sedangkan *al-risalah al-Muhitiyya* membahas tentang geometri lingkaran dalam hal penentuan busur, quadrant dan termasuk menentukan nilai π .¹³⁷

¹³⁴ Thomas Hockey, *Biographical...*, hlm. 613.

¹³⁵ *Ibid.*

¹³⁶ Mohammad K. Azarian, "Miftah al-Hesab: A Summary" dalam *Missouri Journal of Mathematical Science* Volume 12 no 2 Spring 2000, hlm. 75.

¹³⁷ Mohammad K. Azarian, "Al-Risala al-Muhitiyya: A Summary" dalam *Missouri Journal of Mathematical Science* Volume 22 no 2 Spring 2010, hlm. 70.

Pada tahun 1413/1414 M, Kashi menyelesaikan *Zijnya* yang bernama *Zij-I Khaqani*, yang dipersembahkan untuk Shah Rukh karena dia tinggal di Herat maupun untuk Ulugh Beg karena dalam *Zij-I Khaqani* menyebutkan bahwa dia tidak dapat menyelesaikan pekerjaannya tanpa dukungan dari pangeran. *Zij al-Kashi* disimpan dalam beberapa salinan berbahasa Persia, disusun dalam enam risalah dan dimulai dengan pengantar penghormatannya kepada Nasir al-Din al-Tusi. Tetapi al-Kashi juga mengungkapkan ketidakpuasannya terhadap *Zij Tusi* atau dikenal dengan *Zij Ilkhani* yang diusulkan untuk diperbaiki.¹³⁸

Zij al-Kashi bagian pertama berisi tentang penanggalan yang umum digunakan. Kedua berisi tentang matematika yakni fungsi trigonometri dan astronomi dasar. Ketiga dan keempat membahas astronomi bola dengan prosedur dan solusi masalah dalam astronomi bola termasuk juga yang berbentuk tabel. Bagian kelima berisi tentang solusi yang berbeda dalam penentuan kekuasaan. Kemudian bagian keenam berupa materi astrologi. Setiap risalah mencakup pengantar dengan daftar istilah teknis, dan dua bagian berisi solusi, perhitungan, dan bukti. Tabel yang dihitung oleh al-Kashi menggunakan aturan penomoran seksagesimal. Tabel sinus memberikan empat tempat seksagesimal untuk setiap menit busur. Al-kashi juga menyebutkan beberapa instrument pengamatan seperti kuadran mural dan penggaris

¹³⁸ Thomas Hockey, *Biographical...*, hlm. 614.

parallactic yang berputar, yang kelihatannya merupakan “Instrumen sempurna” dari Urdu.¹³⁹

Pada Januari 1416, al-Kashi menyusun sebuah risalah bernama *Risala dar Sharh-i alat-i rasd* berdasarkan perintah dari Sultan Iskandar yang kemungkinan raja yang bernama Qara-Qonyulu. Risalah ini membahas tentang instrument pengamatan dan tulisan ini disimpan dalam dua manuskrip Persia di Leiden dan Teheran. Kebanyakan instrument yang dijelaskan oleh al-Kashi telah disebutkan oleh Ptolomeus dan/atau sudah terdaftar di Urdu seperti *Parallactic ruler* untuk pengukuran jarak zenith, sebuah *armillary sphere*, *equinoctial* dan *solstitial armilla*. Selanjutnya, ia menjelaskan instrument bernama sekstan Fakhri yang digunakan untuk mengukur ketinggian Bintang. Instrument ini ditemukan oleh Khujandi sekitar 1000 dalam Rayy yang juga dideskripsikan oleh Marrakushi dan dikonfirmasi oleh Biruni.¹⁴⁰

Risalah al-Kashi ini menunjukkan bahwa dia memiliki pengetahuan tentang observatorium di Maragha. Karyanya merupakan penghubung antara dua pusat kajian astronomi pada abad pertengahan. Dua tempat ini memberikan pengaruh yang luas dari Istanbul ke barat, Cina dan India ke timur, dan kemungkinan juga sampai ke observatorium Eropa paling awal.¹⁴¹

¹³⁹ Thomas Hockey, *Biographical...*, hlm. 614.

¹⁴⁰ *Ibid.*

¹⁴¹ *Ibid.*

Pada tanggal 10 Februari tahun 1416, Al-Kashi menyelesaikan tulisan dalam bidang instrument astronomi yang berjudul *Nuzhat al-Hada'iq fi kayfiyya san'a al-ala al-musamma bi tabaq al-manatiq*. Dalam karya ini, al-Kashi mendeskripsikan dua instrument yang dia sebut dengan *Equatorum al-Kashi* atau *Plate of Heaven* dan *Plate of Conjunction*. Versi yang pertama dari risalah ini selesai di Kashan pada 10 Februari 1416 yang sekarang disimpan dalam sebuah manuskrip Arab di London. Versi yang kedua telah direvisi di Samarkand pada juni 1426. Risalah ini hanya diketahui dalam edisi *lithographic* dari beberapa karya al-Kashi, kemudian di cetak di Tehran 1888/1889.¹⁴²

Plate of heaven merupakan sebuah planetarium yang berfungsi sebagai alat komputasi untuk menemukan posisi sebenarnya dari sebuah Planet. Sebuah alternatif untuk perhitungan numerik yang panjang dengan cara mengurangi permasalahan pokok tiga dimensi ke dalam rangkaian operasi numerik dua dimensi. *Plate of heaven* dari al-Kashi merupakan satu-satunya contoh yang ditemukan dari daratan Islam timur dan terlebih lagi yang paling ringkas dalam metode menentukan garis bujur dan lintang Planet. Sedangkan *Plate of Conjunction* merupakan perangkat sederhana untuk melakukan interpolasi linear, sebuah aplikasi mekanis dari

¹⁴² Michael J. Bradley, *The Age of Genius 1300 to 1800*, New York: Chelsea House, 2006, hlm. 5.

geometri dasar untuk menentukan waktu konjungsi Planet yang diharapkan akan terjadi.¹⁴³

Selain karya-karya diatas, al-Kashi juga memiliki tulisan yang banyak terkait dengan astronomi dasar. Pada risalahnya yang bernama *Ta'rib al-zij* yang disimpan di Leiden dan Tashkent, dia menerjemahkan pendahuluan dari Zij Ulugh Beg dari bahasa Persia ke Arab. Kemudian dia juga menulis *Miftah al-asbab fi 'ilm al-zij* (kunci dari penyebab dalam ilmu tabel astronomi), risalah ini masih ada dalam naskah berbahasa Arab di Mosul. Karyanya yang lain berjudul *Risala dar sakht-i asturlab* yang membahas tentang konstruksi dari astrolabe, risalah ini masih tersedia dalam manuskrip Persia di Meshed. Risalah yang lain berjudul *Risala fi ma'rifat samt al-qibla min da'ira hindiyya ma'rufa* yang menjelaskan tentang penentuan arah kiblat menggunakan *indian circle* atau lingkaran India. Risalah ini juga masih tersedia dalam manuskrip Arab di Meshed. Kemudian *Zij al-tashilat* yang al-Kashi sebutkan dalam *miftah al-hisab* kelihatannya sudah tidak ada.¹⁴⁴

Terdapat juga dua surat yang ditulis oleh al-Kashi dari Samarkand ke ayahnya di Kashan. Dua surat tersebut memang tidak berhubungan dengan risalah astronomi tapi cukup memberikan informasi tentang Ulugh Beg dan Observatorium yang dibangun oleh Ulugh Beg. Surat ini disimpan dalam tiga

¹⁴³ *Ibid.*

¹⁴⁴ Thomas Hockey, *Biographical...*, hlm. 614.

manuskrip Persia di Teheran. Kedua surat itu menggambarkan Ulugh Beg sebagai seorang pria yang dermawan dan terpelajar. Al-Kashi memuji pengetahuan dan kapasitas matematikanya dan memberikan gambaran tentang sang pangeran sebagai ilmuwan di antara mereka dan dilindungi olehnya. Observatorium didirikan seperti apa yang disarankan oleh al-Kashi dan sangat mirip dengan observatorium sebelumnya di Maragha. Bangunannya sejajar pada meridian di puncak sebuah batu yang merupakan bagian dari sekstan Fakhri yang telah diukir. Bagian atas berupa atap datar untuk penempatan instrument yang lain.¹⁴⁵

Al-kashi dalam suratnya menyebutkan beberapa instrumen yang dibangun untuk observatorium ini. Diantaranya al-Kashi menjelaskan suatu jam Matahari di dinding yang condong (sundial equatorial), sebuah alat untuk menentukan waktu sholat asar. Selain sundial, al-Kashi juga menjelaskan instrument lain yang bernama *zarqala*, sebuah astrolab universal yang ditemukan oleh Zarqali di Andalusia abad ke-11. Kashi memiliki citra yang sangat positif terhadap dirinya sendiri dan memberi tahu ayahnya bahwa dia tahu bagaimana menyelesaikan masalah yang orang lain tidak bisa. Atas saran ayahnya, dia benar-benar aktif dalam bekerja di

¹⁴⁵ Muhammad Bagheri, "A Newly Found Letter of Al-Kashi on Scientific Life in Samarkand alam", Artikel No. HM962145 dalam *Jurnal Historia Matematica* volume 24 tahun 1997, hlm. 243.

observatorium, tetapi hal ini membuatnya memiliki waktu yang sedikit untuk melakukan hal lain.¹⁴⁶

Dengan berbagai karya besar dalam bidang Astronomi, al-kashi disebut oleh sejarawan sebagai Ptolomeus kedua pada masanya. Karya-karya yang ditulisnya memberikan tradisi kritik dan sebagian besar berupa pengembangan dari beberapa teori Ptolomeus.¹⁴⁷

B. Konstruksi Instrumen *Equatorum al-Kashi*

Instrumen *Equatorum al-Kashi* merupakan jenis instrument dari bidang datar yang berisi *plotting* untuk memecahkan permasalahan dalam teori pergerakan planet ptolomeus secara grafis. Penentuan posisi rata-rata dari zij kemudian mencari posisi sebenarnya (true position) menggunakan instrumen. Instrumen ini terdiri dari empat bagian yakni bidang (*plate*), cincin atau lingkaran terluar (*the ring*), *alidade*, dan penggaris (*ruler*).¹⁴⁸

The plate atau bidang adalah sebuah bidang datar yang berbentuk lingkaran seperti bidang dari sebuah astrolabe. Alat ini dibuat dengan diameter ukuran satu cubit (*dhera*, kurang lebih 29.5 inci) atau bisa juga berdiameter dua atau tiga cubit. Di bagian pusat bidang terdapat lubang yang dibuat sebagai

¹⁴⁶ Muhammad Bagheri, *A Newly Found...*, hlm. 248-249.

¹⁴⁷ Maya Mitkova, al-Kashi Doubbed as Second Ptolemy, dalam *Arab Times* tanggal 22 November 2013 hari Jumat, hlm. 12.

¹⁴⁸ E.S. Kennedy, "A Fifteenth-Century Planetary Computer: al-Kashi's Tabaq al-Manatiq I. Motion of the Sun and Moon in Longitude" dalam *Chicago Journals History of Science Society* Vol. 41. No. 2 (July. 1950), hlm. 180.

poros alidade. pada permukaan bidang ini juga terdapat lingkaran zodiak dan garis yang dibuat secara permanen. Tanda dan garis pada bidang ini berhubungan satu sama lain untuk menyelesaikan permasalahan antara satu dengan lainnya.¹⁴⁹

Bagian kedua dari instrument *Equatorum al-Kashi* yakni *the ring* atau lingkaran terluar yang berisi 12 tanda zodiak dan pembagiannya dalam derajat. *Ring* atau cincin terluar ini sama dengan lingkaran terluar yang mengelilingi bidang permukaan astrolabe. Pada bagian dalam lingkaran ini terdapat lubang kecil. Lubang ini memiliki radius yang sama dengan jarak titik pusat bidang datar ke lubang tersebut sepanjang lingkaran ini.¹⁵⁰

Alidade (*alidade*) yang terdapat dalam alat ini sama dengan alidade yang dipakai dalam astrolabe. Titik tengah alidade atau porosnya berada pada titik pusat bidang instrument. Panjang alidada ini diatur berukuran enam puluh dari titik pusat bidang datar. Enam puluh ini kemudian dibagi ke dalam sexagesimal.¹⁵¹

Penggaris (*the ruler*) yang dimaksud merupakan sebuah tepi yang lurus memiliki panjang sama dengan panjang alidada. Fungsi utama dari penggaris ini adalah untuk memberikan arah dari alidade ke sembarang titik di bidang permukaan instrument. Sebagai contoh penentuan garis pada

¹⁴⁹ E.S. Kennedy, *A Fifteenth-Century...*, hlm. 181.

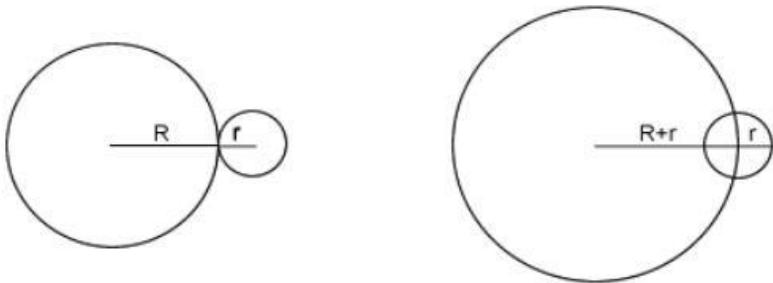
¹⁵⁰ E.S. Kennedy, *A Fifteenth-Century...*, hlm. 182.

¹⁵¹ *Ibid.*

bidang yang paralel ke tepi alidade. untuk mendapatkan posisi parallel seperti itu, pembuat instrumen ini mengarahkan agar penggaris ditempatkan sedemikian rupa sehingga ujungnya melewati titik yang dimaksud. Sehingga, kedua busur dari *ring* berptongan di kedua sisi antara alidade dan penggaris menjadi sama.¹⁵²

Instrument *Equatorum al-Kashi* secara prinsip dibuat berdasarkan teori Ptolomeus yakni lingkaran Epicycle, Equant, dan deferent. Dampak dari penggunaan teori ini adalah data ephemeris yang dihasilkan juga tentunya akan memiliki keakurasian tertentu.¹⁵³

Lingkaran epicycle dan deferent merupakan dua istilah yang dipakai dalam Matematika. Lingkaran epicycle berarti lingkaran kecil di busur lingkaran deferent. Sedangkan lingkaran deferent merupakan lingkaran besar.¹⁵⁴



Gambar 5.1. Lingkaran dengan jari-jari (R) adalah lingkaran deferent dan lingkaran jari-jari (r) adalah lingkaran epicycle.

¹⁵² *Ibid.*

¹⁵³ E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium of Jamshid al-Din al-Kashi*, New Jersey: Princeton University Press, hlm. 183.

¹⁵⁴ Precious Andrew, *The Mathematics of the epicycloid: a historical journey with a modern perspective*, Thesis Master of Science Mathematics The University of New Mexico Agustus 2009, hlm. 1.

Dua lingkaran ini dapat membentuk bangun geometri yang beragam. Bangunan geometri yang terbentuk tergantung dari jari- lingkaran epicycle dan deferent, kecepatan putaran (*angular motion*) dan arah putaran.¹⁵⁵

Sebelum ditemukannya orbit benda langit yang berbentuk elips, astronomer menggunakan lingkaran epicycle dan deferent untuk menjelaskan konfigurasi alam semesta. Dengan dua lingkaran ini juga, astronomer mampu menjelaskan gerak retrograde benda langit beserta fenomenanya.¹⁵⁶

Penggunaan teori epicycle dan deferent pertama kali dipakai oleh Apollos pada abad ketiga (3) SM. Kemudian dilanjutkan oleh Hipparchus pada abad kedua (2) SM yang berhasil menghitung bujur apogee benda langit. Selanjutnya masa keemasan dari teori ini mengalami puncaknya pada era Ptolomeus dan bertahan hampir 1400 tahun.¹⁵⁷

C. Prinsip Kerja Instrumen *Equatorum al-Kashi*

1. Penentuan Posisi Matahari (*True Ecliptic Longitude of Sun*)

Pada saat awal pembuatan instrumen ini, ditentukan sebuah titik secara bebas pada lingkaran terluar dari zodiak (*Tongue*) sebagai titik *apogee* Matahari. Dalam penentuan posisi Matahari diperlukan sebuah titik atau tanda tetap dalam bidang instrumen ini, sebut saja tanda F (Sebagai

¹⁵⁵ *Ibid.*

¹⁵⁶ Precious Andrew, *The Mathematics...*, hlm. 11.

¹⁵⁷ Precious Andrew, *The Mathematics...*, hlm. 18.

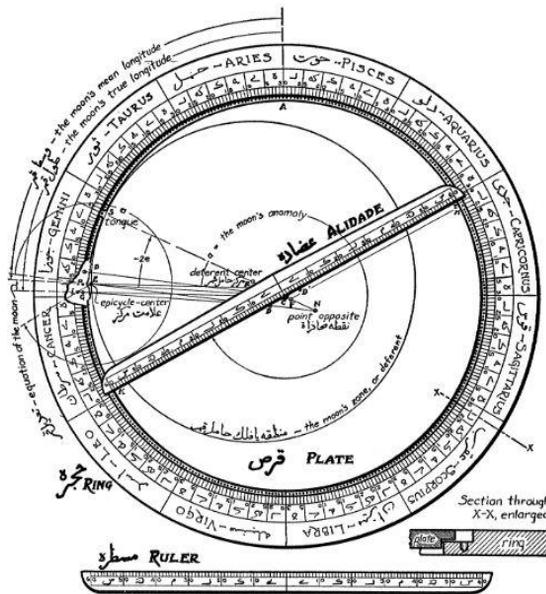
mana gambar diatas). Titik ini disebut titik pusat khayal dari Matahari (dalam bahasa Inggris disebut *fictional center of the sun*, sedangkan dalam bahasa Arab disebut *markaz-I mosta'ar-I shams*). Titik ini ditaruh pada bidang dengan jarak 2; 4, 9 dari titik C (titik Pusat bidang). Titik F ini merupakan perpanjangan dari garis lurus yang ditarik dari titik apogee Matahari ke C.¹⁵⁸

Untuk menentukan posisi Matahari (*true position*) di ekliptika pada waktu tertentu, hitunglah terlebih dahulu posisi rata-rata dari Matahari pada waktu yang dicari dengan menggunakan *Zij* yang terdapat pada instrumen ini. Letakkan jarak sudut ini (busur *AM* pada gambar diatas) sepanjang lingkaran cincin (*The Ring*), ukur dengan berlawanan arah jarum jam dari titik pertama Aries. Kemudian Letakkan garis *Tongue* (dari titik pusat ke titik apogee Matahari pada awal instrumen dibuat) di atas titik di tepi *Ring* yang sesuai dengan posisi Apogee Matahari untuk waktu yang sama. Selanjutnya letakkan tepi penggaris di sepanjang *M* dan *F* (gambar 5.2) dan putar alidade ke posisi yang sejajar dengan penggaris. Maka, titik *T* (gambar 5.2) dimana ujung alidade melintasi *ring* yaitu nilai posisi sebenarnya dari Matahari (*true ecliptic longitude*) untuk waktu itu dan busur *TM* merupakan persamaan Matahari (*equation of sun*) untuk waktu itu.

¹⁵⁸ E.S. Kennedy, *A Fifteenth-Century I...*, hlm. 182. Lihat juga E.S. Kennedy, *Planetary Equatorium...*, hlm. 87-88.

Panjang FM adalah jarak Bumi-Matahari pada waktu itu, dimana enam puluh (konsep dalam alat ini) merepresentasikan jarak rata-rata Bumi-Matahari.¹⁵⁹

Konfigurasi seperti ini merupakan bagian dari teori Matahari Ptolomeus, karena pada instrumen tersebut bagian tepi *ring* mewakili *deferent* (eccentricity orbit) Matahari, titik C menjadi pusat *Deferent* dan titik F menjadi pusat alam semesta. Nilai 2; 4, 9 untuk CF sangat berbeda dari nilai yang dipakai oleh Ptolomeus 2; 30 tetapi dekat dengan nilai al-Battani 2; 4, 45.¹⁶⁰



Gambar 5.2. bidang *Equatorium al-Kashi* dan *Titik-Titik Posisi Pengukuran*. (A, B, C, D, E, F, M, N, dll)

¹⁵⁹ E.S. Kennedy, *A Fifteenth-Century I...*, hlm. 182. Lihat juga E.S. Kennedy, *Planetary Equatorium...*, hlm. 87-88.

¹⁶⁰ E.S. Kennedy, *A Fifteenth-Century I...*, hlm. 182. Lihat juga Kennedy, *Planetary Equatorium...*, hlm. 87-88.

2. Penentuan Posisi Bulan (*True Ecliptic Longitude of Moon*)

Untuk penentuan posisi sebenarnya dari Bulan dibutuhkan beberapa tanda yang permanen pada bidang (*plate*). Dari titik C, tandai titik R (titik ini disebut *the center of the moon's deferent* atau *markaz-I hamel-I qamar*) pada jarak 10; 19 yang searah dengan garis *tongue*. Dengan titik pusat R dan membuat sebuah lingkaran dengan radius 49; 41, lingkaran ini disebut *moon's deferent* atau *falak-I hamel-I qamar*, E.S. Kennedy menyebutnya dengan *moon's zone (mantaqeh-I qamar)*. Kemudian tambahkan tanda lain (titik N pada gambar 1) yang merupakan perpanjangan dari CR, sehingga $CR = CN$. Titik N merupakan titik yang berlawanan (*opposite point* atau *noqteh-I mohadhat*). Pada tepi alidade tandai sebuah titik D (gambar 5.2), garis CD akan memiliki radius dari epicycle bulan 5; 15. Titik D disebut bilangan beragam dari Bulan (*Diffrence number* atau *raqam-I ekhtelaf*). Panjang dari garis-garis ini identik dengan nilai yang digunakan oleh Ptolemy dan al-Battani.¹⁶¹

Dalam penentuan bujur ekliptika sebenarnya (*true ecliptic longitude*) dari Bulan pada waktu tertentu, ada tiga item yang harus dicari melalui *zij* pada instrumen *Equatorum al-Kashi* (bisa menggunakan interpolasi). (1) Posisi rata-rata dari Matahari (2) posisi rata-rata dari Bulan

¹⁶¹ E.S. Kennedy, *A Fifteenth-Century I...*, hlm. 183. Lihat juga Kennedy, *Planetary Equatorum...*, hlm. 89.

dan (3) nilai dari anomali rata-rata Bulan, semua itu berupa dalam bentuk tanggal dan jam yang dimaksud.¹⁶²

Tandai *P* sebagai posisi rata-rata dari Bulan pada tepi *ring*. Tentukan selisih antara posisi rata-rata Matahari dan posisi rata-rata Bulan. Hasil dari selisih ini merupakan elongasi rata-rata dari Bulan (nilai-nilai yang diasumsikan di sini tidak ada hubungannya dengan yang digunakan dalam ilustrasi diatas). Mulai dari titik *P* tersebut, terapkan nilai elongasi yang sudah didapatkan diatas dengan cara searah jarum jam di sepanjang tepi *ring* dan busur PS sama dengan $2e$, “double elongation” (lihat gambar 1).¹⁶³

Kemudian putar bidang sampai *tongue*-nya berhadapan dengan titik S (lihat gambar 5.2) dan tetapkan dengan sebuah patok. Gambarlah garis lurus menggunakan alidade dari titik C ke P. lihat perpotongan anatara garis tersebut dengan lingkaran *deferent* Bulan atau *moon's zone*, tandai perpotongan ini (titik E pada gambar 1). Titik E disebut dengan titik pusat *epicycle* atau *alamat-i markaz*. Kemudian taruhlah tepi dari penggaris sepanjang titik E dan N, selanjutnya putar alidade sampai sejajar dengan penggaris.¹⁶⁴

Setelah alidade sejajar dengan penggaris, tandai titik perpotongan tepi alidade dengan tepi *ring* (titik B pada

¹⁶² E.S. Kennedy, A Fifteenth-Century I..., hlm. 183. Lihat juga Kennedy, *Planetary Equatorium...*, hlm. 91.

¹⁶³ *Ibid.*

¹⁶⁴ E.S. Kennedy, A Fifteenth-Century I..., hlm. 184. Lihat juga Kennedy, *Planetary Equatorium...*, hlm. 89-91.

gambar 1). Kemudian garis CB dan NE menjadi parallel dan dalam arti yang sama. langkah selanjutnya yakni Dari titik B, putarlah alidade searah jarum jam berdasarkan nilai anomali rata-rata Bulan (melalui busur BK seperti gambar 1). Tandai pada bidang instrumen posisi dari titik D (*Diffrence number* atau *raqam-I ekhtelaf*). Tanda ini disebut tanda keragaman Bulan (dalam bahasa Inggris disebut *mark of the difference of the moon* sedangkan dalam bahasa Arab disebut *alamat-i ekhtelaf-i qamar*.¹⁶⁵

E.S. Kennedy menjelaskan sampai langkah ini, penjelasan dalam naskah cukup Jelas dan sesuai dengan konfigurasi lunar Ptolomeus. Langkah terakhir dalam mencari nilai true ecliptic longitude dari Bulan yakni menambahkan secara vector bagian CD ke CE. Hasilnya berupa CL (lihat gambar 1) akan menjadi radius vektor dari Bumi ke Posisi sebenarnya dari Bulan, jika dibutuhkan lihat perpotongan hasil vektor tersebut pada ring (titik G pada gambar 1). Titik G tersebut memberikan nilai bujur ekliptika sebenarnya dari Bulan dan busur GP menjadi persamaan Bulan (*equation of the moon*). Busur GP merupakan tambahan penjelasan dari E.S. Kennedy. Penjelasan tersebut sedikit berbeda dengan terjemahan secara harfiah dari kitab asli *Nuzhah al-hadaiq* yakni:¹⁶⁶

¹⁶⁵ E.S. Kennedy, *A Fifteenth-Century I...*, hlm. 184. Lihat juga Kennedy, *Planetary Equatorium...*, hlm. 89-91.

¹⁶⁶ E.S. Kennedy, *A Fifteenth-Century I...*, hlm. 184. Lihat juga Kennedy, *Planetary Equatorium...*, hlm. 89-91.

“..... setelah ini, letakkan tepi penggaris (*ruler*) sepanjang sepanjang dua tanda dari pusat dan *difference number*, kemudian buatlah alidade parallel dengan penggaris. Di tempat penunjuk alidade yang dekat (di sisi) tanda pusat, buatlah tanda pada bagian *ring*. Tanda ini kita sebut dengan posisi yang diketahui (*known position* atau *maude'I maqum*). Maka, perbedaan rerata Bulan dengan pusat antara titik pertama Aries dan posisi yang diketahui, biarkan posisi tersebut ditingkatkan. Kemudian, posisi sebenarnya (*true position*) dari bulan didapatkan. Allah yang lebih mengetahui!”

Nampaknya, diperlukan menaruh alidade parallel dengan DE agar memperoleh bujur ekliptika sebenarnya (*true longitude*). Tapi konstruksi seperti ini akan menjadi salah. Kami mencatat secara sepintas bahwa tidak penting titik *L* (gambar 1) benar-benar diplot. Untuk mengatasi hal ini, cukup dengan menentukan sudut PCG (gambar 1) yakni *equation of the moon*. untuk merekonstruksi maksud penulis, asumsikan bahwa *mark of difference number* (keragaman bilangan Bulan) yang dimaksud bukan D, tetapi titik D' pada tepi alidade dan ditandai juga pada pelat, sehingga $DC = CD'$. Jika langkah ini diikuti, tepi alidade ditempatkan sejajar dengan D'E (lihat gambar 1), kemudian alidade akan memotong tepi *ring* di titik G (gambar 1), nilai bujur ekliptika sebenarnya dari Bulan didapatkan. Karena telah membuat GC sejajar dengan ED',

jika dari E sebuah garis ditarik sejajar dengan CD', sehingga akan membentuk sebuah jajar genjang $LED'C$. Maka, LE akan sejajar dan sama dengan DC juga, garis LC akan menjadi jumlah vektor yang diperlukan dari CE dan CD.¹⁶⁷

3. Lunar Equation

Persamaan Bulan atau *lunar equation* merupakan persamaan yang dicari dalam instrumen *Equatorum al-Kashi* dan dibutuhkan untuk mendapatkan nilai posisi sebenarnya dari Bulan. Pada pembahasan mencari *true ecliptic longitude* dari Bulan telah dijelaskan langkah-langkah dalam mencari persamaan ini secara geometri. Ada dua macam persamaan Bulan yang didapatkan dari instrumen *Equatorum al-Kashi*.¹⁶⁸

Persamaan bulan yang pertama merupakan perbedaan bujur antara posisi rata-rata Bulan (dihasilkan melalui *zij*) dan sebuah objek yang bergerak pada *epicycle* yang pusatnya berada pada jarak konstan dari pusat alam semesta. Persamaan Bulan yang kedua merupakan ketidakteraturan tambahan yang disebabkan oleh *prosneusis*, efek dari eksentrisitas orbit yang bergerak.¹⁶⁹

¹⁶⁷ E.S. Kennedy, *A Fifteenth-Century I...*, hlm. 184. Lihat juga E.S. Kennedy, *Planetary Equatorium...*, hlm. 89-91.

¹⁶⁸ E.S. Kennedy, "A Fifteenth-Century Planetary Computer: al-Kashi's *Tabaq al-Manatiq II. Longitudes, Distances and Equations of the Planets*" dalam *Chicago Journals History of Science Society* Vol. 43. No. 1 (April. 1952), hlm. 49.

¹⁶⁹ *Ibid.*

Dalam bagian kedua manuskrip (*nuzha al-hadaiq*) yang membahas persamaan planet (*planetary equation*) dan pada bagian tersebut terdapat kalimat yang berhubungan dengan *lunar equation*. Kalimat tersebut “persamaan Bulan yang pertama adalah jumlah antara tanda kedua dan permulaan tanda dari gerakan anomalistik Bulan”.¹⁷⁰

Hal tersebut nampaknya tidak masuk akal karena dalam teori Bulan kedua tanda tersebut bertepatan jika didefinisikan sebagaimana pembahasan mencari persamaan planet. Tanda yang pertama menjadi Bujur ekliptika rata-rata Bulan dan yang kedua adalah bujur dari pusat *epicycle* Bulan. Tanda awal dari gerakan anomalistik Bulan bukanlah *epicycle apogee* melainkan merupakan titik B seperti gambar 1. Busur yang tampaknya digunakan oleh al-kashi adalah busur PB yang mengukur perpindahan sudut pada *epicycle apogee* yang disebabkan oleh *prosneus*. Busur ini bukanlah salah satu dari dua persamaan Bulan (*lunar equation*).¹⁷¹

Instrumen *Equatorum al-Kashi* bisa dengan mudah menentukan *lunar equation*. Dari titik P (gambar 1) berhenti berlawanan arah jarum jam pada bagian *ring* kemudian busur PAK' sama dengan anomaly Bulan. Putarlah alidade sampai ujungnya berada pada K' dan

¹⁷⁰ *Ibid.*

¹⁷¹ *Ibid.*

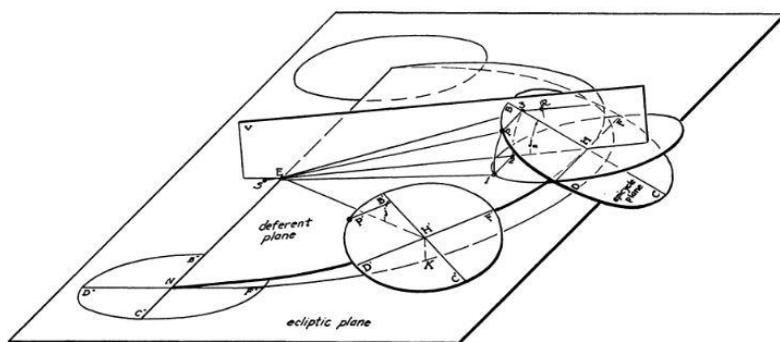
tanda D' menjadi posisi baru dari tanda keberagaman bilangan (*mark of the difference*) Bulan. Selanjutnya letakkan penggaris sepanjang PD' dan putar alidade sampai ujungnya menjadi sejajar dengan penggaris. Maka, perpotongan kepala alidade dengan tepi *ring* pada titik H (gambar 1) adalah bujur yang dimiliki Bulan jika dia hanya melakukan perpindahan *apogee* dan busur *PH* merupakan persamaan Bulan yang pertama. Karena bujur Bulan yang sebenarnya (*true ecliptic longitude*) berada pada titik G (gambar 1), sehingga busur *GH* menjadi persamaan Bulan yang kedua.¹⁷²

4. Lintang Ekliptika Bulan (*Latitude of the Moon*)

Penentuan lintang ekliptika Bulan menggunakan instrumen *Equatorum al-Kashi* membutuhkan beberapa tanda yang terukir secara permanen di bidang instrumen. Beberapa tanda tersebut yakni penyamaan diameter (*equating diameter* atau dalam bahasa Persia disebut *qotri-esteva*) dan lingkaran lintang Bulan (*moon's latitude circle*).¹⁷³

¹⁷² *Ibid.*

¹⁷³ E.S. Kennedy, "An Islamic Computer for Planetary Latitudes" dalam *Jurnal of the American Oriental Society*, Vol. 71, No. 1 (Januari – Maret), 1951, hlm. 13.



Gambar 5.3. Lingkaran lintang Bulan

Equation diameter atau persamaan diameter merupakan sebuah garis yang ditarik dari asal pembagian *ring* melalui titik pusat bidang. Sedangkan lingkaran lintang Bulan berupa setengah lingkaran yang ditarik pada satu sisi *equating diameter* dengan pusat pada titik pusat bidang dan jari-jarinya sama dengan panjang dari sebuah busur lima derajat pada tepi bagian dalam *ring*. Jari-jari setengah lingkaran tersebut yang tegak lurus dengan garis penyamaan diameter (*equating diameter*) yang dibagi menjadi lima bagian yang sama dan setiap bagian dibagi lagi sejauh skala yang dimungkinkan pada instrumen. Melalui setiap titik garis bagian tersebut ditarik sejajar dengan *equating diameter* dan perpotongan pada keliling setengah lingkaran tersebut dalam satu set titik. Titik-titik tersebut diberi tanda berdasarkan jarak dari *equating diameter* salah satu kelompok garis sejajar dimana titik tersebut berada. Misalnya, jika alidade (membuat sudut ω

dengan *equating diameter*) memotong setengah lingkaran pada titik yang bertanda 2; 30, maka titik tersebut berada pada jarak 2,5 unit dari *equating diameter*. Lebih jauh, karena jari-jari lingkaran adalah lima, maka kita punya $2; 30 = 5 \sin \omega$ dan pada kasus ini ω harus bernilai 30° atau 150° .¹⁷⁴

Misalkan sekarang, bujur ekliptika sebenarnya Bulan untuk waktu tertentu telah ditentukan dengan metode pada pembahasan diatas. Kemudian dengan bantuan tabel (*Zij*) yang ada untuk melengkapi instrumen ini, hitunglah bujur *ascending node* dari Bulan pada waktu itu. Perbedaan dari dua bujur ini adalah ω , *argument of the moon's latitude* atau *hisseh-i 'ard-i qamar*. Letakkan kepala alidade sehingga ujungnya bertepatan dengan sudut ω pada bagian *ring*. Kemudian bacalah angka pada setengah lingkaran yang terkait dengan titik di mana setengah lingkaran berpotongan dengan tepi alidade. Angka ini akan menjadi nilai lintang ekliptika Bulan pada waktu itu, utara jika *argument of the moon's latitude* lebih kecil daripada enam tanda zodiak dan selatan jika lebih besar daripada enam tanda zodiak.¹⁷⁵

¹⁷⁴ E.S. Kennedy, "An Islamic Computer for Planetary Latitudes" dalam *Journal of the American Oriental Society*, Vol. 71, No. 1 (Januari – Maret), 1951, hlm. 14. Lihat E.S. Kennedy, *Planetary Equatorium...*, hlm. 199.

¹⁷⁵ E.S. Kennedy, "An Islamic Computer for Planetary Latitudes" dalam *Journal of the American Oriental Society*, Vol. 71, No. 1 (Januari – Maret), 1951, hlm. 14. E.S. Kennedy, *Planetary Equatorium...*, hlm.198

Konstruksi seperti ini berhubungan dengan teori Ptolomeus, karena lintang ekliptika Bulan (β) dicari melalui persamaan (menggunakan notasi modern):

$$\beta = 5^\circ \sin \omega$$

Ptolomeus mengukur *argument of the moon latitude* dari titik-titik lintang maksimum, sedangkan al-kashi mengukur dari titik simpul yang biasa digunakan oleh astronom muslim pada waktu itu.¹⁷⁶

Konfigurasi seperti ini secara substansi mirip dengan instrumen Islam bernama *dastur quadrant* yang digunakan untuk mengalikan angka yang diberikan dengan sudut sinus atau cosinus yang diberikan. Harus juga dicatat bahwa demi kepentingan akurasi, akan lebih baik menggunakan skala yang lebih besar untuk setengah lingkaran. Al-kashi hanya menggunakan sekitar dua belas jari-jari alidade, meskipun seluruh jari-jarinya tersedia.¹⁷⁷

5. Fungsi-Fungsi Instrumen Equatorum al-Kashi

Menurut penelitian E.S. Kennedy, Instrumen *Equatorum al-Kashi* memiliki fungsi sebagai berikut:¹⁷⁸

- a. Menentukan bujur ekliptika Matahari sebenarnya, persamaannya dan jarak dari pusat alam semesta
- b. Menentukan bujur ekliptika Bulan sebenarnya
- c. Menentukan bujur ekliptika Planet-Planet sebenarnya
- d. Menentukan persamaan, pusat dan anomali

¹⁷⁶ *Ibid.*

¹⁷⁷ E.S. Kennedy, *Planetary Equatorium...*, hlm.200.

¹⁷⁸ Lihat E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium...*, hlm. 81-157.

- e. Menentukan lintang dari enam Planet
- f. Menentukan jarak Planet-planet dari pusat alam semesta
- g. Menentukan pergerakan retrograde Planet, gerak maju dan waktunya
- h. Menentukan sektor Apogee dan *Epicyclic*
- i. Menentukan gerhana Bulan
- j. Menentukan gerhana Matahari

D. Data Astronomi atau *Zij* pada Instrument *Equatorum al-Kashi*

Tradisi astronom Muslim pada abad pertengahan yakni memproduksi tabel astronomis (*Zij*) untuk Matahari, Bulan, Bintang dan Planet-planet. Termasuk salah satu ilmuwan tersebut adalah jamshid ghiyath ad-din al-Kashi. Al-Kashi membuat tabel astronomi (*Zij*) bernama *Zij Khaqani*. *Zij* ini berusaha untuk mengoreksi *Zij* Nasiruddin at-Tusi yang bernama *Zij Ilkhani*. *Zij* ini berisi pergerakan rata-rata Matahari Bulan dan Planet-planet dalam sistem tata surya.¹⁷⁹

Instrumen *Equatorum al-Kashi* disebut juga dengan instrumen *equatora*. Instrumen ini disebut *equatoria* karena untuk menghitung posisi rata-rata dari Matahari, Bulan dan Planet-planet melalui tabel astronomi (*Zij*) dan untuk mencari posisi sebenarnya dari Matahari, Bulan dan Planet dilakukan

¹⁷⁹ E.S. Kennedy, "On The Contents and Significance of the khaqani Zij By Jamshid Ghiyath al-Din n al-Kashi", *Islamic Mathematics and Astronomy* Volume 84, 1998, hlm. 4.

Zij yang terdapat pada instrument *Equatorum al-Kashi* merupakan bagian dari *Zij Khaqani*. *Zij* yang terdapat dalam instrumen ini terdiri atas beberapa komponen yakni:

1. Basis Penanggalan

Penanggalan yang dipakai dalam *zij al-Kashi* mengacu kepada sistem *Solar Calender*. Penanggalan yang dipakai dalam *zij* ini berdasarkan kalender Persia. Satu tahun dalam kalender Persia berumur 365 hari. jumlah bulan dalam satu tahun 12 bulan. Umur tiap-tiap bulan 30 hari dan ada tambahan 5 hari.¹⁸²

Zij al-kashi ini terdiri dari tahun yang dijadikan *epoch*, kelebihan tahun, Bulan, hari, jam. Sepuluh baris yang pertama merupakan nilai dari bujur ekliptika atau anomali rata-rata pada tahun 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860. Tahun yang dijadikan *epoch* dalam *zij* ini adalah 851 yang bertepatan dengan tanggal 16 November 1481 M.¹⁸³

Pemilihan tahun 851 menjadi *epoch* dalam *zij* ini didasarkan atas tahun pertama penobatan yang mulia (Bayazid II) berdaulat di kursi pemerintahan.¹⁸⁴

Baris selanjutnya dari tabel *al-kashi* merupakan nilai pergerakan rata-rata bujur atau anomali pada panjang waktu tertentu. Sepuluh baris kedua berisi tahun

¹⁸² E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium of Jamshid Ghiyath al-Din al-Kashi*, Princeton: Princeton University Press, 1960, hlm. 185.

¹⁸³ E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium....*, hlm. 185

¹⁸⁴ E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium....*, hlm. 81.

10 sampai dengan seratus, interval yang dipakai 10 tahun. Kemudian baris selanjutnya dari 100-1000, interval yang dipakai 100 tahun.¹⁸⁵

Baris selanjutnya dari *zij* ini yakni interval waktu pergerakan bujur atau anomali dalam satu bulan penanggalan Persia. Durasi satu bulan dalam penanggalan ini adalah 30 hari. nama-nama bulan dalam penanggalan Persia yakni:¹⁸⁶

No	Nama Bulan	No	Nama Bulan
1	Farvardin	7	Mehr
2	Ordibehesht	8	Aban
3	Xordad	9	Azar
4	Tir	10	Dey
5	Mordad	11	Bahman
6	Shahrivar	12	Esfand

Tabel 5.1. Nama Bulan Penanggalan Persia

Karena panjang tahun yang dipakai dalam *zij* ini adalah 365 hari. Maka setelah pencantuman tahun-tahun tertentu kemudian nilai pergerakan dalam satu bulan dan pada bagian baris terakhir berisi kekurangan 5 hari dalam satu tahun kemudian pergerakan harian dengan interval satu hari dan sepuluh hari. Pergerakan harian ini dari 1

¹⁸⁵ E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium...*, hlm. 67.

¹⁸⁶ Nachum Dershowitz dan Edward M. Reingold, *Calendrical Calculation*, New York: Cambridge University Press, 2008, hlm. 218.

sampai dengan 10 dan dari 10 sampai 20. Baris terakhir berisi pergerakan dalam satu jam.¹⁸⁷

Bilangan yang ada pada *zij* ini memakai aturan penomoran tanda zodiak, derajat, dan menit. Markas dalam pembuatan *zij* ini mengacu kepada kota konstantinopel dengan bujur 60.¹⁸⁸ Berbeda dengan kondisi sekarang setelah ditetapkan bujur 0° berada pada Greenwich dan bujur konstantinopel berada pada koordinat 28° 58' 33.66" BT.¹⁸⁹

2. Variabel Matahari

Pergerakan Matahari yang digunakan dalam *Zij* ini mengacu kepada pergerakan rata-rata hariannya. Pergerakan rata-rata hariannya yakni 0° 59' 8.33"'.¹⁹⁰

TAHUNAN					
Tahun	Mean	Apogee	Tahun	Mean	Apogee
851	8 ^b 4, 22	3 ^b 1, 59	60	11 ^b 15,40	0 ^b 0, 51
852	8 ^b 4, 7	3 ^b 2, 0	70	11 ^b 13,17	0 ^b 1, 0
853	8 ^b 3, 53	3 ^b 2, 1	80	11 ^b 10,53	0 ^b 1, 9
854	8 ^b 3 39	3 ^b 2, 2	90	11 ^b 8,30	0 ^b 1, 17
855	8 ^b 3, 42	3 ^b 2, 3	100	11 ^b 6, 6	0 ^b 1, 26
856	8 ^b 3, 10	3 ^b 2, 3	200	10 ^b 12,13	0 ^b 2, 51

¹⁸⁷ E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium...*, hlm. 185

¹⁸⁸ E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium...*, hlm. 186.

¹⁸⁹ Lihat <https://latitude.to/to/articles-by-country/tr/turkey/247/constantinopel.html> diakses pada tanggal 10 Juni 2019 hari Selasa jam 15.14 WIB

¹⁹⁰ Nilai ini didapatkan dari 360/365.2425. Mean position atau posisi rata-rata di istilahkan dalam *zij* dengan *wasat* dan aopge di istilahkan dengan *Auj*. Lihat Lihat Jamshid Ghiyat al-Din al-Kashi, *Nuzhat al-Hadaiq, tt*. Hlm. 259.

857	8 ^b 2, 56	3 ^b 2, 4	300	9 ^b 18,20	0 ^b 4, 17
858	8 ^b 2, 41	3 ^b 2, 5	400	8 ^b 24,27	0 ^b 5, 43
859	8 ^b 2, 27	3 ^b 2, 6	500	8 ^b 0,34	0 ^b 7, 9
860	8 ^b 2, 13	3 ^b 2, 6	600	7 ^b 6, 41	0 ^b 8, 34
10	11 ^b 27,37	0 ^b 0, 9	700	6 ^b 12,47	0 ^b 10, 0
20	11 ^b 25,13	0 ^b 0, 17	800	5 ^b 18,54	0 ^b 11, 26
30	11 ^b 22,50	0 ^b 0 26	900	4 ^b 25, 1	0 ^b 12, 51
40	11 ^b 20,26	0 ^b 0, 34	1000	4 ^b 1, 8	0 ^b 14, 17
50	11 ^b 18, 3	0 ^b 0, 43			

Tabel 5.2. Nilai pergerakan Matahari berdasarkan tahun Persia

BULANAN			
No	Bulan	Mean	Apogee
1	Farvardin	0 ^b 0, 0	0 ^b 0, 0
2	Ordibehesht	0 ^b 29, 34	0 ^b 0, 0
3	Xordad	1 ^b 29, 8	0 ^b 0, 0
4	Tir	2 ^b 28, 42	0 ^b 0, 0
5	Mordad	3 ^b 28, 17	0 ^b 0, 0
6	Shahrivar	4 ^b 27, 51	0 ^b 0, 0
7	Mehr	5 ^b 27, 52	0 ^b 0, 0
8	Aban	6 ^b 26, 59	0 ^b 0, 1
9	Azar	7 ^b 26, 33	0 ^b 0, 1
10	Dey	8 ^b 26, 7	0 ^b 0, 1
11	Bahman	9 ^b 25, 42	0 ^b 0, 1
12	Esfad	10 ^b 25, 16	0 ^b 0, 1
	Lima Hari	11 ^b 24, 50	0 ^b 0, 1

Tabel 5.3. Nilai pergerakan Matahari berdasarkan Bulan Persia

HARIAN		
Tanggal Persia	Mean	Apogee
1	0 ^b 0, 0	0 ^b 0, 0
2	0 ^b 0, 59	0 ^b 0, 0
3	0 ^b 1, 58	0 ^b 0, 0
4	0 ^b 2, 57	0 ^b 0, 0
5	0 ^b 3, 57	0 ^b 0, 0
6	0 ^b 4, 56	0 ^b 0, 0
7	0 ^b 5, 55	0 ^b 0, 0
8	0 ^b 6, 54	0 ^b 0, 0
9	0 ^b 7, 53	0 ^b 0, 0
10	0 ^b 8, 52	0 ^b 0, 0
10	0 ^b 9, 51	0 ^b 0, 0
20	0 ^b 19, 43	0 ^b 0, 0
JAM		
Satu jam	0 ^b 0, 2	0 ^b 0, 0

Tabel 5.4. Nilai pergerakan Matahari berdasarkan harian Persia

3. Variabel Bulan

Pergerakan Bulan yang digunakan dalam Zij ini adalah pergerakan *sideris*, *anomalistik*, dan *longitude of ascending node*.¹⁹¹

¹⁹¹ Dalam zij al-Kashi pergerakan sideris Bulan di istilahkan dengan wasat, lalu pergerakan anomalistik di istilahkan dengan khasah dan longitude of ascending node di istilahkan dengan *al-uqdah*. Lihat Jamshid Ghiyat al-Din al-Kashi, *Nuzhat al-Hadaiq*, tt. hlm. 259.

Pergerakan sideris Bulan atau *Sidereal Month* merupakan pergerakan Bulan yang diukur dari titik refrensinya berupa bintang jauh atau dengan kata lain *fixed star to fixed star*. Durasi satu bulan sideris yakni 27.32166 atau 27 hari 7 Jam 43 Menit 12 detik. Sehingga pergerakan hariannya yakni $360/27.32166$ sama dengan $13^{\circ} 10' 34.89''$.¹⁹²

Pergerakan anomalistik Bulan atau *Anomalistic Month* yakni pergerakan Bulan yang diukur dari titik refrensi *Perige* atau durasi dari titik perige ke perige lagi. Durasi satu Bulan anomalistik yakni 27.55455 atau 27 hari 13 jam 18 menit 33 detik. Sehingga pergerakan hariannya yakni $360/27.55455$ sama dengan $13^{\circ} 3' 53.97''$.¹⁹³

TAHUNAN			
Tahun	Mean	Anomali	Ω
851	$6^b 1, 49$	$3^b 28, 46$	$9^b 24, 4$
852	$10^b 11, 12$	$6^b 27, 29$	$10^b 13, 24$
853	$2^b 20, 35$	$9^b 26, 12$	$11^b 2, 43$
854	$6^b 29, 58$	$0^b 24, 55$	$11^b 22, 3$
855	$11^b 9, 20$	$3^b 23, 38$	$0^b 11, 23$
856	$3^b 18, 44$	$6^b 22, 22$	$1^b 0, 43$
857	$7^b 28, 7$	$9^b 21, 5$	$1^b 20, 2$
858	$0^b 7, 30$	$0^b 19, 49$	$2^b 9, 22$
859	$4^b 16, 53$	$3^b 18, 31$	$2^b 28, 42$

¹⁹² Ralph B. Roncoli, *Lunar Constants and Models Document*, California: California institute Jet Propulsion Laboratory, 2005, hlm. 9.

¹⁹³ *Ibid.*

860	8^b 26, 16	6^b 17, 14	3^b 18, 1
10	7^b 3, 51	5^b 17, 11	6^b 13, 17
20	2^b 7, 4 (2)	11^b 4, 23	0^b 26, 35
30	9^b 11, 33	4^b 21, 34	7^b 9, 52
40	4^b 15, 24	10^b 8, 46	1^b 23, 9
50	11^b 19, 15	3^b 25, 57	8^b 6, 26
60	6^b 23, 4	9^b 13, 9	2^b 19, 43
70	1^b 26, 58	3^b 0, 20	9^b 3, 0
80	9^b 0, 49	8^b 17, 32	3^b 16, 17
90	4^b 4, 40	2^b 4, 43	9^b 29, 35
100	11^b 8, 31	7^b 21, 55	4^b 12, 52
200	10^b 17, 1	3^b 13, 49	8^b 25, 43
300	9^b 25, 32	11^b 5, 44	1^b 8, 35
400	9^b 4, 3	6^b 27, 38	5^b 21, 27
500	8^b 11, 34	2^b 19, 33	10^b 4, 19
600	7^b 21, 5	10^b 11, 28	2^b 17, 10
700	6^b 29, 35	6^b 3, 22	7^b 0, 2
800	6^b 8, 6	1^b 25, 17	11^b 12, 54
900	5^b 16, 37	9^b 17, 12	3^b 25, 46
1000	4^b 25, 7	5^b 9, 6	8^b 8, 37

Tabel 5.5. Zij al-kashi Pergerakan Bulan dalam tahunan

BULANAN				
No	Bulan	Mean	Anomali	Ω
1	Farvardin	0^b 0, 0	0^b 0, 0	0^b 0, 0
2	Ordibehesht	1^b 5, 18	1^b 1, 57	0^b 1, 35
3	Xordad	2^b 10, 35	2^b 3, 54	0^b 3, 11

4	Tir	3^b 15, 53	3^b 5, 51	0^b 4, 46
5	Mordad	4^b 21, 10	4^b 4, 48	0^b 6, 21
6	Shahrivar	5^b 26, 27	5^b 9, 45	0^b 7, 57
7	Mehr	7^b 1, 45	6^b 11, 42	0^b 9, 32
8	Aban	8^b 7, 3	7^b 13, 39	0^b 11, 30
9	Azar	9^b 12, 20	8^b 15, 36	0^b 12, 42
10	Dey	10^b 17, 36	9^b 17, 33	0^b 14, 18
11	Bahman	11^b 22, 35	10^b 19, 30	0^b 15, 53
12	Esfand	0^b 28, 13	11^b 21, 27	0^b 17, 18
	Lima hari	2^b 3, 30	0^b 23, 24	0^b 19, 4

Tabel 5.6. Pergerakan Bulan dan bulanan.

HARIAN				
	Tanggal	Mean ¹⁹⁴	Anomali ¹⁹⁵	Ω ¹⁹⁶
	1	0^b 0, 0	0^b 0, 0	0^b 0, 0
	2	0^b 13, 11	0^b 13, 4	0^b 0, 3
	3	0^b 26, 21	0^b 26, 8	0^b 0, 6
	4	1^b 9, 32	1^b 9, 12	0^b 0, 10
	5	1^b 22, 42	1^b 22, 16	0^b 0, 13
	6	2^b 5, 53	2^b 5, 19	0^b 0, 16
	7	2^b 19, 3	2^b 18, 23	0^b 0, 19
	8	3^b 2, 14	3^b 1, 27	0^b 0, 22
	9	3^b 15, 25	3^b 14, 31	0^b 0, 25

¹⁹⁴ Mean adalah pergerakan rata-rata Matahari.

¹⁹⁵ Anomali adalah pergerakan rata-rata Matahari

¹⁹⁶ Longitude of Ascending Node adalah salah satu elemen orbit yang digunakan untuk menentukan orbit suatu benda di angkasa. Bujur node menaik merupakan sudut dari arah referensi yang disebut asal bujur menuju arah node menaik yang diukur pada bidang referensi.

10	3^b 28, 35	3^b 27, 35	0^b 0, 29
10 (Puluhan)	4^b 11, 46	4^b 10, 39	0^b 0, 32
20	8^b 23, 32	8^b 21, 58	0^b 1, 4
JAM			
Jam	Mean	Anomali	Ω
Satu jam	0^b 0, 33	0^b 0, 33	0^b 0, 0

Tabel 5.7. Pergerakan Bulan dalam harian dan jam

4. Variabel Planet

Planet dalam zij ini berisi superior Planet dan inferior Planet.

5. Tinjauan Umum dalam pembuatan Zij al-kashi

Secara umum zij al-Kashi dalam instrumen ini dibuat berdasarkan perkalian pergerakan harian Bulan maupun Matahari dengan lama hari dalam satu tahun dan bilangan tahun. Sebagai contoh untuk tahun 10 dalam penentuan posisi Matahari, nilai mean atau *wasath* dihitung dengan cara $10 \times 365 \times 0^\circ 59' 8.33''$. Hasil perkalian ini merupakan nilai *wasath* atau mean untuk tahun ke 10. Tahun ke 10 bernilai $357^\circ 36' 55.45''$ sedangkan dalam zij ditulis $11^b 27^\circ 37'$.

Langkah ini digunakan juga untuk menghitung wasat, khasah, al-uqdah dari data Bulan pada zij ini. Untuk tahun-tahun 851-860 merupakan tahun yang berisi nilai *true position* atau nilai sebenarnya dari tahun tersebut setelah dikoreksi. Kemudian perlu dicatat juga tahun 851

penanggalan ini sama dengan 16 November 1481 M, untuk nilai pergerakan rata-rata pada tahun tersebut terdapat kekeliruan sebesar 10° .¹⁹⁷

6. Cara mengoperasikan Zij

Sebagaimana penjeleasan diatas bahwa zij ini berfungsi untuk menentukan posisi rata-rata dari Matahari, Bulan, dan Planet-planet. Langkah-langkah menggunakan zij tersebut adalah sebagai berikut:¹⁹⁸

- a. Tentukan waktu yang dicari dalam kalender Persia
- b. Jika tahun yang dicari adalah tahun-tahun yang tertulis secara eksplisit di tabel (*Zij*), ambillah tahun tersebut secara tepat pada tabel tersebut.
- c. Jika tahun yang dicari tersebut adalah sebelum atau sesudah dari tahun-tahun yang ada di tabel, maka ambillah tahun pada 10 baris pertama dan jumlahkan dengan kelebihan tahun pada tabel sesuai dengan jumlah tahun yang dicari.
- d. Setelah mendapatkan tahun yang dicari, selanjutnya carilah bulan dan hari pada tabel (*Zij*). Kemudian tambahkan nilai pada bulan dan hari tersebut ke nilai pada tahun yang telah di dapatkan sebelumnya, sehingga posisi rata-rata benda langit didapatkan dari penjumlahan tahun, bulan dan hari. nilai yang di dapatkan ini mengacu pada siang hari di

¹⁹⁷ Selisih ini didapatkan dari membandingkan nilai bujur ekliptika sebenarnya pada zij ini dengan perhitungan Jean Meus.

¹⁹⁸ E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium...*, hlm. 81-85.

Konstantinopel yang menjadi markas *Zij* (bujur Konstantinopel yakni 60°).

- e. Kemudian apabila diinginkan pada garis bujur selain konstantinopel (60°), maka carilah selisih (jumlah) antara garis bujur yang diinginkan dengan bujur Konstantinopel (jika bujur konstantinopel lebih besar maka nilai bujur konstantinopel dikurangi dengan nilai bujur tujuan dan jika bujur tujuan lebih besar maka bujur tujuan dikurangi dengan nilai bujur konstantinopel). Nilai selisih ini dijadikan berbentuk jam dan menit (dibagi dengan 15), kemudian dikalikan dengan nilai pergerakan selama satu jam. Dan meningkat dengan produk hasil gerakan rata-rata untuk siang hari dari bujur 60 jika garis bujur yang diinginkan lebih sedikit dan menguranginya jika lebih.
- f. kemudian jika diinginkan pada waktu selain siang, tentukan jam dan menit yang berlalu setelah siang atau waktu yang tersisa sampai siang, nilai tersebut dikalikan dengan gerakan rata-rata dalam satu jam. Kemudian hasilnya ditambahkan ke nilai point (e) jika waktu tersebut setelah tengah hari dan dikurangi ke nilai point (e) jika sebelum tengah hari. hasilnya akan menjadi nilai rata-rata pada waktu yang diinginkan.
- g. Nilai rata-rata Matahari adalah persis dengan nilai rata-rata dua *inferior planet* dan sama dengan nilai rata-rata anomali dari masing-masing *superior Planet*. Nilai

rata-rata Matahari ini juga sama dengan nilai anomali majmuk (*compound anomaly*) superior planet. Kemudian karena nilai rata-rata Matahari tersebut persis sama dengan nilai rata-rata *inferior planet*, kita belum memasukkan nilai rata-rata bujur mereka dalam tabel (*Zij*) dan sebagai gantinya kita telah menulis nilai anomali majemuk (*compound anomaly*) mereka.¹⁹⁹

¹⁹⁹ *Ibid.*

BAB VI
INSTRUMENT MODERN *EQUATORUM AL-KASHI*
SEBAGAI HISAB AWAL BULAN KAMARIAH

A. Kekurangan Instrumen *Equatorum al-Kashi* Sebagai Hisab Awal Bulan Kamariyah

Instrumen *Equatorum al-Kashi* sebenarnya merupakan miniatur alam semesta. Fungsi utamanya untuk menentukan bujur dan lintang ekliptika planet-planet. Data-data yang didapatkan hanya pada koordinat ekliptika. Hal ini merupakan kekurangan instrumen *Equatorum al-Kashi* jika dipakai dalam menghitung awal bulan kamariyah.²⁰⁰

Selanjutnya, tabel astronomis dalam instrumen *Equatorum al-Kashi* mengacu kepada data tahun 851 Persia atau 16 November 1481 M. Untuk saat sekarang data terbaru yang digunakan adalah epoch J2000. Sehingga, dari sisi tabel atau zij astronomi data tersebut perlu dilakukan “upgrad”. Selain itu, sistem penanggalan yang digunakan dalam Zij al-Kashi adalah sistem penanggalan persia dengan umur satu tahun 365 hari.

Data Matahari dan Bulan yang dibutuhkan dalam menghitung awal bulan kamariyah tidak hanya data pada koordinat ekliptika melainkan membutuhkan data aksensioekta, deklinasi, sudut waktu, dan waktu ghorub

²⁰⁰ Lihat E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium of Jamshid Ghiyath al-Din al-Kashi*, Princeton: Princeton University Press, 1960, hlm. 81-157.

dalam pengaplikasiannya sebagai hisab awal Bulan kamariyah.

B. Rekomputasi *Zij Instrument Equatorum al-Kashi* Berbasis Julian Day dan Data J2000 untuk Hisab Awal Bulan Kamariyah

Instrumen *Equatorum al-Kashi* disebut juga sebagai Equatorium. Penyebutan equatorium untuk instrumen ini dikarenakan untuk menghitung posisi sebenarnya dari Matahari, Bulan, dan Planet-planet membutuhkan *zij* untuk mencari posisi rata-rata terlebih dahulu. Selanjutnya, penentuan posisi sebenarnya (*true position*) benda langit diolah secara mekanis.²⁰¹

Pada mulanya pembuatan *zij al-kashi* berbasis kepada penanggalan persia yang satu tahunnya berdurasi 365 hari dan tiap-tiap bulannya berdurasi 30 hari dan ditambah 5 hari untuk melengkapi kekurangan dalam satu tahun. Epoch²⁰² yang dipakai dalam *zij al-Kashi* yakni tahun 851 Persia atau 16 November 1481 M.²⁰³

Nalar atau algoritma dalam pembuatan *zij al-Kashi* berdasarkan perkalian pergerakan harian Bulan maupun Matahari dengan lama hari dalam satu tahun dan bilangan tahun. Sebagai contoh untuk tahun 10 dalam penentuan posisi

²⁰¹ Olaf Pederson, "review the book the planetary equatorium of jamshid ghyiath al-din al-kashi with translation and commentary by E.S. Kennedy" dalam *journal of the American Oriental Society*, Vol. 83, No. 3 (Aug. – Sep., 1963), hlm. 365.

²⁰² Epoch yakni acuan perhitungan atau permulaan penanggalan.

²⁰³ E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium...*, hlm. 185

Matahari, nilai mean atau *wasath* dihitung dengan cara $10 \times 365 \times 0^\circ 59' 8.33''$. Hasil perkalian ini merupakan nilai *wasath* atau mean untuk tahun ke 10. Tahun ke 10 bernilai $357^\circ 36'55.45''$ sedangkan dalam zīj ditulis $11b\ 27^\circ 37'$.²⁰⁴

Posisi benda langit mengalami perubahan koordinat dalam alam semesta seiring dengan berjalannya waktu. Sebagaimana kasus pembaharuan sistem penanggalan Julian ke Gregorian. Alasan adanya pembaharuan ini karena pada saat itu *vernal equinox* tidak jatuh tepat pada tanggal 21 Maret melainkan mundur 10 hari. Hal ini disebabkan karena perubahan koordinat benda langit. Ataupun kasus penentuan kemunculan bintang Rowot atau Pleiades di masyarakat sasak yang menurut mereka muncul di ufuk timur pagi hari pada Bulan Mei. Padahal menurut kenyataan pada bulan Mei, Bintang ini tidak dapat terlihat di ufuk timur pada pagi hari karena koordinat Bintang ini berubah dan memang benar Bintang ini muncul pada Bulan Mei sekitat ratusan tahun yang lalu.²⁰⁵ Dengan demikian, memperbaharui sistem perhitungan dan acuan perhitungan berdasarkan data terbaru merupakan sebuah keniscayaan untuk mendapatkan nilai yang mendekati kebenaran.

Rekomputasi zīj al-kāshī berdasarkan kepada penanggalan Julian Day, Epoch J2000 dan data pergerakan Matahari Bulan

²⁰⁴ E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium...*, hlm. 86. Lihat juga Jamshīd Ghīyāṭ al-Dīn al-Kāshī, *Nuzhat al-Hadāiq*, tt. hlm. 259.

²⁰⁵ Abdul Kohar, *Penanggalan Rowot Sasak dalam Perspektif Astronomi*, Skripsi Fakultas Syariah Jurusan Ilmu Falak, 2017.

yang terbaru. Pemilihan penanggalan Julian Day ini didasarkan karena penanggalan Julian Day banyak digunakan dalam algoritma modern dan adanya perubahan dari kalender Julian ke Gregorian membuat kesulitan tersendiri untuk membandingkan peristiwa astronomis yang terpisah dalam jangka waktu cukup lama. Untuk mengatasi masalah ini, diperkenalkan Julian Day.²⁰⁶

Kemudian Epoch J2000 merupakan acuan perhitungan yang dipakai untuk abad ke-20. J2000 berarti Julian abad dua ribu. Posisi benda langit pada epoch J2000 diukur pada tanggal 1 Januari tahun 2000 pukul 12 UT. Posisi benda langit pada tanggal ini dijadikan acuan untuk menghitung posisi benda langit pada tahun-tahun berikutnya. Epoch ini juga pernah mengalami pembaruan yang pada awalnya pada tahun J1950 kemudian yang terbaru J2000. Pembaruan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai benda langit yang mendekati posisi sebenarnya.

Langkah terakhir dalam rekomputasi zij al-Kashi ini berdasarkan data pergerakan harian dan anomalistik Matahari. Pergerakan harian Matahari yakni $0.98564735^\circ / 0^\circ 59' 8.33''$ dan pergerakan anomali harian Matahari yakni $0.98560025^\circ / 0^\circ 59' 8.16''$. Data ini selanjutnya digunakan untuk pembuatan tabel astronomi variabel Matahari yang akan

²⁰⁶ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta: MIPA UGM, 2012, hlm. 8.

digunakan sebagai acuan menggerakkan instrumen termodifikasi.²⁰⁷

Pergerakan harian Bulan yang digunakan sebagai acuan dalam rekompulasi zij yakni pergerakan Sinodis, Sidereal (*Sideris*), Anomalistik dan Pergerakan Drakonis. Pergerakan harian Sinodis berdurasi $12^{\circ} 11' 26.7''$. Pergerakan harian Sidereal (*Sideris*) berdurasi $13^{\circ} 10' 34.89''$. Kemudian pergerakan Anomalistik berdurasi $13^{\circ} 3' 53.97''$. Dan terakhir pergerakan drakonis berdurasi $13^{\circ} 13' 45.66''$. Data ini selanjutnya digunakan untuk pembuatan tabel astronomi variabel Bulan yang akan digunakan sebagai acuan menggerakkan instrumen termodifikasi.²⁰⁸

1. Rekompulasi Variabel Matahari

Variabel Matahari yang digunakan adalah pergerakan harian dan anomalistik. Tabel astronomi untuk perhitungan posisi rata-rata Matahari sebagai berikut:

ΔT (JD) ²⁰⁹	$\Delta \lambda$ ($^{\circ}$) ²¹⁰	ΔM ($^{\circ}$) ²¹¹	ΔT (JD)	$\Delta \lambda$ ($^{\circ}$)	ΔM ($^{\circ}$)
1	0:59:08	0:59:08	100	98:33:53	98:33:36
2	1:58:17	1:58:16	200	197:07:46	197:07:12
3	2:57:25	2:57:24	300	295:41:39	295:40:48
4	3:56:33	3:56:33	400	34:15:32	34:14:24

²⁰⁷ Lihat <http://ssd.jpl.nasa.gov/> diakses pada tanggal 9 Juli 2019 pukul 15.00 WIB. Jet Propulsion Laboratory (JPL) NASA adalah salah satu divisi di Caltech (*California Institute of technology*) California Selatan, Amerika Serikat. Lihat <http://www.caltech.edu/content/jet-propulsion-laboratory> diakses pada 9 Juli 2019 pukul 15.00 WIB.

²⁰⁸ Lihat Ralph B. Roncoli, *Lunar Constants and Models Document*, California: California institute Jet Propulsion Laboratory, 2005, hlm. 9.

²⁰⁹ Selisih Julian Day.

²¹⁰ Pergerakan Bujur Ekliptika Matahari

²¹¹ Pergerakan Anomali Matahari

5	4:55:42	4:55:41	500	132:49:25	132:48:00
6	5:54:50	5:54:49	600	231:23:18	231:21:37
7	6:53:58	6:53:57	700	329:57:11	329:55:13
8	7:53:07	7:53:05	800	68:31:04	68:28:49
9	8:52:15	8:52:13	900	167:04:57	167:02:25
10	9:51:23	9:51:22	1,000	265:38:50	265:36:01
20	19:42:47	19:42:43	2,000	171:17:41	171:12:02
30	29:34:10	29:34:05	3,000	76:56:31	76:48:03
40	39:25:33	39:25:26	4,000	342:35:22	342:24:04
50	49:16:57	49:16:48	5,000	248:14:12	248:00:04
60	59:08:20	59:08:10	6,000	153:53:03	153:36:05
70	68:59:43	68:59:31	7,000	59:31:53	59:12:06
80	78:51:06	78:50:53	8,000	325:10:44	324:48:07
90	88:42:30	88:42:14	9,000	230:49:34	230:24:08
10,000	136:28:25	136:00:09	100,000	284:44:06	280:01:30
20,000	272:56:49	272:00:18	200,000	209:28:12	200:03:00
30,000	49:25:14	48:00:27	300,000	134:12:18	120:04:30
40,000	185:53:38	184:00:36	400,000	58:56:24	40:06:00
50,000	322:22:03	320:00:45	500,000	343:40:30	320:07:30
60,000	98:50:28	96:00:54	600,000	268:24:36	240:09:00
70,000	235:18:52	232:01:03	700,000	193:08:42	160:10:30
80,000	11:47:17	8:01:12	800,000	117:52:48	80:12:00
90,000	148:15:41	144:01:21	900,000	42:36:54	0:13:30

Tabel 6.1. Selisih Julian Day untuk Pergerakan Matahari

jam	$\Delta\lambda$ (°)	ΔM (°)	jam	$\Delta\lambda$ (°)	ΔM (°)
1	0:02:28	0:02:28	13	0:32:02	0:32:02
2	0:04:56	0:04:56	14	0:34:30	0:34:30
3	0:07:24	0:07:24	15	0:36:58	0:36:58
4	0:09:51	0:09:51	16	0:39:26	0:39:25
5	0:12:19	0:12:19	17	0:41:53	0:41:53
6	0:14:47	0:14:47	18	0:44:21	0:44:21
7	0:17:15	0:17:15	19	0:46:49	0:46:49
8	0:19:43	0:19:43	20	0:49:17	0:49:17
9	0:22:11	0:22:11	21	0:51:45	0:51:45
10	0:24:38	0:24:38	22	0:54:13	0:54:12
11	0:27:06	0:27:06	23	0:56:40	0:56:40
12	0:29:34	0:29:34	24	0:59:08	0:59:08

Tabel 6.2. Pergerakan Matahari dalam Jam

menit	$\Delta\lambda$ (°)	ΔM (°)	menit	$\Delta\lambda$ (°)	ΔM (°)	menit	$\Delta\lambda$ (°)	ΔM (°)
1	0:00:02	0:00:02	21	0:00:52	0:00:52	41	0:01:41	0:01:41
2	0:00:05	0:00:05	22	0:00:54	0:00:54	42	0:01:43	0:01:43
3	0:00:07	0:00:07	23	0:00:57	0:00:57	43	0:01:46	0:01:46
4	0:00:10	0:00:10	24	0:00:59	0:00:59	44	0:01:48	0:01:48
5	0:00:12	0:00:12	25	0:01:02	0:01:02	45	0:01:51	0:01:51
6	0:00:15	0:00:15	26	0:01:04	0:01:04	46	0:01:53	0:01:53
7	0:00:17	0:00:17	27	0:01:07	0:01:07	47	0:01:56	0:01:56
8	0:00:20	0:00:20	28	0:01:09	0:01:09	48	0:01:58	0:01:58
9	0:00:22	0:00:22	29	0:01:11	0:01:11	49	0:02:01	0:02:01
10	0:00:25	0:00:25	30	0:01:14	0:01:14	50	0:02:03	0:02:03
11	0:00:27	0:00:27	31	0:01:16	0:01:16	51	0:02:06	0:02:06
12	0:00:30	0:00:30	32	0:01:19	0:01:19	52	0:02:08	0:02:08
13	0:00:32	0:00:32	33	0:01:21	0:01:21	53	0:02:11	0:02:11
14	0:00:34	0:00:34	34	0:01:24	0:01:24	54	0:02:13	0:02:13
15	0:00:37	0:00:37	35	0:01:26	0:01:26	55	0:02:16	0:02:16
16	0:00:39	0:00:39	36	0:01:29	0:01:29	56	0:02:18	0:02:18
17	0:00:42	0:00:42	37	0:01:31	0:01:31	57	0:02:20	0:02:20
18	0:00:44	0:00:44	38	0:01:34	0:01:34	58	0:02:23	0:02:23
19	0:00:47	0:00:47	39	0:01:36	0:01:36	59	0:02:25	0:02:25
20	0:00:49	0:00:49	40	0:01:39	0:01:39	60	0:02:28	0:02:28

Tabel 6.3. pergerakan Matahari dalam Menit Epoch J2000 untuk posisi Matahari sebagai berikut:²¹²

$\Delta\lambda_0$	ΔM_0	J2000
280:27:39	357:31:45	2451545.0

2. Rekomputasi Variabel Bulan

Rekomputasi zij untuk variabel Bulan berdasarkan pergerakan sideris, anomalistik, dan drakonis Bulan. Perhitungan menggunakan sistem penanggalan Julian Day. Dan dibuat dengan interval 1- 9000.

Variabel tersebut digunakan untuk menghitung posisi Bulan berdasarkan data Epoch terbaru yakni Epoch tahun 2000. Penggunaan Epoch 2000 didasarkan pada data astronomis terbaru. Perhitungan-perhitungan Modern Berdasarkan Epoch J2000.

Penggunaan Julian Day juga didasarkan atas dasar untuk menyesuaikan dengan sistem penanggalan Modern, sehingga Rekomputasi variabel Bulan dapat diaplikasi sesuai dengan perhitungan Modern.

Pergerakan Sideris, Anomalistik dan drakonis Bulan menjadi basis dasar dalam melakukan Rekomputasi untuk membuat data astronomis untuk menghitung posisi Bulan.

²¹² Lihat Jean Meeus, *Astronomical Algorithm*, Virginia: Willman-Bell, 1998, hlm. 121.

ΔT (JD)	$\Delta \lambda$ (°)	ΔM (°)	ΔF (°)	ΔD (°)
1	13:10:35	13:03:54	13:13:46	12:11:27
2	26:21:10	26:07:48	26:27:31	24:22:53
3	39:31:45	39:11:42	39:41:17	36:34:20
4	52:42:20	52:15:36	52:55:03	48:45:47
5	65:52:54	65:19:30	66:08:48	60:57:13
6	79:03:29	78:23:24	79:22:34	73:08:40
7	92:14:04	91:27:18	92:36:20	85:20:07
8	105:24:39	104:31:12	105:50:05	97:31:34
9	118:35:14	117:35:06	119:03:51	109:43:00
10	131:45:49	130:39:00	132:17:37	121:54:27
20	263:31:38	261:17:59	264:35:13	243:48:54
30	35:17:27	31:56:59	36:52:50	5:43:21
40	167:03:16	162:35:59	169:10:26	127:37:48
50	298:49:05	293:14:59	301:28:03	249:32:15
60	70:34:54	63:53:58	73:45:40	11:26:42
70	202:20:42	194:32:58	206:03:16	133:21:09
80	334:06:31	325:11:58	338:20:53	255:15:36
90	105:52:20	95:50:58	110:38:30	17:10:03
100	237:38:09	226:29:57	242:56:06	139:04:30
200	115:16:18	92:59:55	125:52:12	278:08:59
300	352:54:28	319:29:52	8:48:19	57:13:29
400	230:32:37	185:59:50	251:44:25	196:17:58
500	108:10:46	52:29:47	134:40:31	335:22:28
600	345:48:55	278:59:45	17:36:37	114:26:57
700	223:27:05	145:29:42	260:32:44	253:31:27
800	101:05:14	11:59:40	143:28:50	32:35:56
900	338:43:23	238:29:37	26:24:56	171:40:26
1000	216:21:32	104:59:34	269:21:02	310:44:55
2000	72:43:05	209:59:09	178:42:05	261:29:50
3000	289:04:37	314:58:43	88:03:07	212:14:45
4000	145:26:09	59:58:18	357:24:09	162:59:40
5000	1:47:42	164:57:52	266:45:11	113:44:36
6000	218:09:14	269:57:27	176:06:14	64:29:31
7000	74:30:46	14:57:01	85:27:16	15:14:26
8000	290:52:19	119:56:35	354:48:18	325:59:21
9000	147:13:51	224:56:10	264:09:21	276:44:16

Tabel 6.4. Pergerakan Bulan dalam selisih Julian Day

jam	$\Delta\lambda$	$\Delta M'$	ΔF	ΔD
1	0:32:56	0:32:40	0:33:04	0:30:29
2	1:05:53	1:05:19	1:06:09	1:00:57
3	1:38:49	1:37:59	1:39:13	1:31:26
4	2:11:46	2:10:39	2:12:18	2:01:54
5	2:44:42	2:43:19	2:45:22	2:32:23
6	3:17:39	3:15:58	3:18:26	3:02:52
7	3:50:35	3:48:38	3:51:31	3:33:20
8	4:23:32	4:21:18	4:24:35	4:03:49
9	4:56:28	4:53:58	4:57:40	4:34:18
10	5:29:25	5:26:37	5:30:44	5:04:46
11	6:02:21	5:59:17	6:03:48	5:35:15
12	6:35:17	6:31:57	6:36:53	6:05:43
13	7:08:14	7:04:37	7:09:57	6:36:12
14	7:41:10	7:37:16	7:43:02	7:06:41
15	8:14:07	8:09:56	8:16:06	7:37:09
16	8:47:03	8:42:36	8:49:10	8:07:38
17	9:20:00	9:15:16	9:22:15	8:38:06
18	9:52:56	9:47:55	9:55:19	9:08:35
19	10:25:53	10:20:35	10:28:24	9:39:04
20	10:58:49	10:53:15	11:01:28	10:09:32
21	11:31:46	11:25:55	11:34:32	10:40:01
22	12:04:42	11:58:34	12:07:37	11:10:29
23	12:37:38	12:31:14	12:40:41	11:40:58
24	13:10:35	13:03:54	13:13:46	12:11:27

Tabel 6.5. Pergerakan Bulan dalam Jam

Menit	$\Delta\lambda$	$\Delta M'$	ΔF	ΔD	Menit	$\Delta\lambda$	$\Delta M'$	ΔF	ΔD
1	0:00:33	0:00:33	0:00:33	0:00:30	31	0.011819	0.011719	0.011867	0.010935
2	0:01:06	0:01:05	0:01:06	0:01:01	32	0.0122	0.012097	0.012249	0.011288
3	0:01:39	0:01:38	0:01:39	0:01:31	33	0.012582	0.012475	0.012632	0.01164
4	0:02:12	0:02:11	0:02:12	0:02:02	34	0.012963	0.012853	0.013015	0.011993
5	0:02:45	0:02:43	0:02:45	0:02:32	35	0.013344	0.013231	0.013398	0.012346
6	0:03:18	0:03:16	0:03:18	0:03:03	36	0.013725	0.013609	0.013781	0.012699
7	0:03:51	0:03:49	0:03:52	0:03:33	37	0.014107	0.013987	0.014163	0.013051
8	0:04:24	0:04:21	0:04:25	0:04:04	38	0.014488	0.014365	0.014546	0.013404
9	0:04:56	0:04:54	0:04:58	0:04:34	39	0.014869	0.014743	0.014929	0.013757
10	0:05:29	0:05:27	0:05:31	0:05:05	40	0.01525	0.015122	0.015312	0.01411
11	0:06:02	0:05:59	0:06:04	0:05:35	41	0.015632	0.0155	0.015695	0.014462
12	0:06:35	0:06:32	0:06:37	0:06:06	42	0.016013	0.015878	0.016077	0.014815
13	0:07:08	0:07:05	0:07:10	0:06:36	43	0.016394	0.016256	0.01646	0.015168
14	0:07:41	0:07:37	0:07:43	0:07:07	44	0.016775	0.016634	0.016843	0.015521
15	0:08:14	0:08:10	0:08:16	0:07:37	45	0.017157	0.017012	0.017226	0.015873
16	0:08:47	0:08:43	0:08:49	0:08:08	46	0.017538	0.01739	0.017609	0.016226
17	0:09:20	0:09:15	0:09:22	0:08:38	47	0.017919	0.017768	0.017991	0.016579
18	0:09:53	0:09:48	0:09:55	0:09:09	48	0.0183	0.018146	0.018374	0.016932
19	0:10:26	0:10:21	0:10:28	0:09:39	49	0.018682	0.018524	0.018757	0.017284
20	0:10:59	0:10:53	0:11:01	0:10:10	50	0.019063	0.018902	0.01914	0.017637
21	0:11:32	0:11:26	0:11:35	0:10:40	51	0.019444	0.01928	0.019522	0.01799
22	0:12:05	0:11:59	0:12:08	0:11:10	52	0.019826	0.019658	0.019905	0.018343
23	0:12:38	0:12:31	0:12:41	0:11:41	53	0.020207	0.020036	0.020288	0.018695
24	0:13:11	0:13:04	0:13:14	0:12:11	54	0.020588	0.020414	0.020671	0.019048
25	0:13:44	0:13:37	0:13:47	0:12:42	55	0.020969	0.020792	0.021054	0.019401
26	0:14:16	0:14:09	0:14:20	0:13:12	56	0.021351	0.02117	0.021436	0.019754
27	0:14:49	0:14:42	0:14:53	0:13:43	57	0.021732	0.021548	0.021819	0.020106
28	0:15:22	0:15:15	0:15:26	0:14:13	58	0.022113	0.021926	0.022202	0.020459
29	0:15:55	0:15:47	0:15:59	0:14:44	59	0.022494	0.022304	0.022585	0.020812
30	0:16:28	0:16:20	0:16:32	0:15:14	60	0.022876	0.022682	0.022968	0.021164

Tabel 6.6. Pergerakan Bulan dalam menit
Epoch J2000 untuk posisi Bulan sebagai berikut:²¹³

$\Delta\lambda$ (°)	ΔM (°)	ΔF (°)	ΔD (°)	J2000
218:24:54	134:55:15	93:16:20	297:50:25	2451545.0

²¹³ Lihat Jean Meeus, *Astronomical.....*, hlm. 253.

BAB VII

REDESAIN EQUATORUM AL-KASHI SEBAGAI HISAB AWAL BULAN KAMARIYAH

Sejauh penelusuran penulis, instrumen yang secara spesifik untuk perhitungan awal bulan belum ada, astronom muslim zaman dulu melakukan instrumentasi perhitungan astronomi hanya sebatas untuk penentuan posisi benda langit. Klasifikasi instrumen pada abad pertengahan dikategorikan menjadi lima fungsi yakni fungsi observasi, perhitungan, pengukur posisi dan jarak, pengukur waktu, dan simulasi.²¹⁴ Instrumen *Equatorum al-Kashi* dikategorikan sebagai instrumen perhitungan karena memproduksi data ephemeris benda langit.

Perhitungan pada instrumen ini mampu menghasilkan posisi Matahari namun hanya sebatas pada bujur ekliptika sebenarnya dan posisi Bulan yakni Bujur ekliptika sebenarnya dan lintang Bulan. Perlu ada penambahan fungsi agar instrumen ini bisa digunakan sebagai hisab awal Bulan Kamariyah.

Untuk perhitungan awal Bulan Kamariyah sebuah instrumen harus mampu mendapatkan data-data sebagai berikut:

²¹⁴ Jian-Liang Lin, *Decoding the Mechanism of Antikythera Astronomical Device*, London: Springer, 2016, hlm. 21.

- a. Tanggal ijtimak
- b. Waktu Ghurub pada tanggal Ijtimak
- c. Bujur Ekliptika Matahari Saat Ghurub
- d. Aksensiorekta Matahari Saat Ghurub
- e. Sudut waktu Matahari Saat ghurub
- f. Bujur ekliptika Bulan saat ghurub
- g. Lintang ekliptika Bulan saat Ghurub
- h. Aksensiorekta
- i. Deklinasi
- j. Selanjutnya hasil akhir yang dicari adalah ketinggian hilal

Pada awal pembuatan instrumen *Equatorum al-Kashi* tidak dikhususkan untuk perhitungan awal bulan kamariyah, alat ini hanya berfungsi untuk mendapatkan data ephimeris Matahari, Bulan dan Planet-planet pada koordinat ekliptika yakni bujur ekliptika, jarak dan lintang ekliptika. Alat ini belum mampu menemukan nilai aksensiorekta Matahari, deklinasi Matahari, aksensiorekta Bulan, Deklinasi Bulan dan sudut waktu Bulan dan Jam Matahari saat ghurub. Data-data ini merupakan kebutuhan utama dalam menghitung awal Bulan kamariyah.

Secara prinsip data awal yang harus diketahui untuk menghitung awal Bulan kamariyah adalah bujur ekliptika Matahari, Bujur ekliptika Bulan, dan lintang Bulan. Selanjutnya data ini diolah dengan transformasi koordinat tapi

instrumen *Equatorum al-Kashi* hanya mampu memproduksi data pada koordinat ekliptika.

Tujuan utama instrumen ini adalah untuk mencari data koordinat benda langit pada tata koordinat ekliptika. Model koreksi yang digunakan instrumen ini dalam perhitungan bujur ekliptika Matahari adalah koreksi *equation of center*. Kemudian koreksi yang digunakan untuk mencari bujur ekliptika Bulan yakni koreksi *equation of center Moon* atau *Major Inequality* dan *Eveksi* atau *evection*. Kemudian lintang Bulan dicari dengan cara geometri perkalian sinus.²¹⁵

Pengembangan dilakukan dengan alur yang sama dan model koreksi yang sama akan tetapi model dalam mengambil nilai koreksi menggunakan kurva. Pembuatan model kurva ini akan lebih memudahkan untuk mencari nilai koreksi untuk pergerakan Matahari dan Bulan. Selanjutnya, pada instrumen *Equatorum al-Kashi* perlu dilakukan modifikasi agar dapat menghasilkan data pada koordinat equator dan horizon.

1. Kurva Koreksi Variabel Matahari

Kurva Koreksi untuk Matahari berjumlah satu Buah yakni *equation of center*. Pembuatan kurva ini merupakan plotting data koreksi *equation of center* berdasarkan pergerakan anomali Matahari.

²¹⁵ Lihat E.S. Kennedy, "A Fifteenth-Century Planetary Computer: al-Kashi's *Tabaq al-Manatiq* I. Motion of the Sun and Moon in Longitude" dalam *Chicago Journals History of Science Society* Vol. 41. No. 2 (July. 1950), hlm. 180.

2. Kurva Koreksi Variabel Bulan

Koreksi pada instrumen *Equatorum al-Kashi* berjumlah dua suku koreksi yakni koreksi eveksi yang dicari dengan cara double elongasi dikurangi anomali Bulan. Kemudian suku koreksi kedua merupakan suku koreksi *equation of center Moon* yang dicari dari nilai anomali Bulan. Koreksi ini dicari pada instrument *Equatorum al-Kashi* dengan aturan geometri.

Penulis melakukan modifikasi pada metode pencarian koreksi ini dengan cara membuat kurva dan menambahkan suku koreksi lain berdasarkan gangguan utama pada pergerakan Bulan. Gangguan utama pada pergerakan Bulan berjumlah enam gangguan utama yakni gangguan *Major inequality, Evection, Variation, Annual inequality, Reduction to ecliptic* dan *Parallactic inequality*.²¹⁶

a. Kurva Koreksi untuk *Major Inequality*

Koreksi *major inequality* disebabkan karena bentuk orbit Bulan yang ellips. Karena eksentrisitas orbit Bulan, maka Bulan bervariasi hingga 6.3° dari posisi rata-rata. Persamaan *major inequality* mengikuti persamaan *equation of center* dari orbit planet. Koreksi

²¹⁶ Ernest W. Brown, *An Introductory treatise on the Lunar Theory*, London: Cambridge University Press, 1896, hlm. 93-113.

major inequality ini merupakan koreksi yang terbesar pada pergerakan Bulan.²¹⁷

Kurva koreksi dibuat berdasarkan nilai anomali Bulan, nilai anomali mewakili percepatan Bulan ketika jaraknya dari Bumi berkurang saat bergerak ke arah perigee dan kemudian melambat saat jaraknya dari Bumi meningkat saat bergerak menuju apogee. Untuk mengambil nilai suku koreksi pada instrumen termodifikasi, terlebih dahulu harus diketahui nilai anomali Bulan yang dicari menggunakan zij termodifikasi. Nilai pada penggaris (*Ruler*) menunjukkan nilai suku koreksi *Major inequality*. Nilai pada ruler untuk koreksi ini bersatuan derajat.

b. Kurva koreksi untuk *Evection*

Koreksi *Evection* atau eveksi merupakan ketidaksetaraan terbesar yang dihasilkan oleh gangguan Matahari dalam revolusi Bulan mengelilingi Bumi selama satu Bulan. Eveksi ini menyebabkan garis bujur ekliptika Bulan bervariasi sekitar 1.274° (derajat) dengan periode sekitar 31.8 hari.²¹⁸

Kurva koreksi untuk eveksi dibuat berdasarkan nilai double longasi dikurangi anomali Bulan ($2D-M'$). Nilai suku koreksi ini diambil menggunakan ruler yang

²¹⁷ Lihat Ernest W. Brown, *An Introductory...*, hlm. 94. Oliver Motenbruck, *Astronomy on the Personal Komputer*, New York: Springer, 2000, hlm. 152.

²¹⁸ *Ibid.*

terlebih dahulu harus dihitung nilai double elongasi dikurangi anomali dengan menggunakan zij termodifikasi. Nilai pada ruler menunjukkan nilai suku koreksi *Evection*. Nilai pada ruler untuk koreksi ini bersatuan derajat.

c. Kurva koreksi untuk *Variation* atau variasi

Koreksi Variasi merupakan percepatan Bulan ketika mendekati bulan baru dan bulan purnama dan melambat ketika mendekatai kuartal pertama dan terakhir. Koreksi ini ditemukan oleh Tycho Brahe. Suku koreksi ini bernilai paling besar sekitar 40 menit. Penggambaran kurva koreksi variasi berdasarkan nilai elongasi atau selisih bujur ekliptika Bulan dikurangi dengan bujur ekliptika Matahari.²¹⁹

Kurva koreksi variasi ini berbentuk seperti kacang. Penulis menyebutnya dengan istilah *peanut correction*. Nilai suku koreksi ini bersatuan menit. Perpotongan ruler dengan kurva koreksi ini tidak menunjukkan nilai derajat melainkan menit dan kemudian dicari dari nilai elongasi. Elongasi dihitung menggunakan zij termodifikasi aatau nilai D.

²¹⁹ Ernest W. Brown, *An Introductory...*, hlm. 96. Oliver Motenbruck, *Astronomy...*, hlm. 152.

- d. Kurva koreksi *Annual Inequality* atau persamaan tahunan

Koreksi persamaan tahunan yakni keadaan pada saat orbit Bulan menjadi sedikit diperluas dalam ukuran dan lebih lama dalam periode ketika Bumi berada pada perihelion (paling dekat dengan Matahari) pada awal Januari karena efek gangguan Matahari paling besar waktu ini. Kemudian sedikit berkontraksi dalam ukuran dan lebih pendek pada periode ketika Matahari paling jauh di awal Juli, sehingga efek gangguannya lebih lemah.²²⁰

Penggambaran kurva ini didasarkan atas nilai anomali Matahari. Satuan untuk koreksi ini bernilai menit. Nilai paling besar untuk koreksi ini sekitar 12 menit. Perpotongan ruler dengan kurva koreksi ini menunjukkan nilai koreksi annual inequality yang bersatuan menit. Untuk mencari nilai anomali Matahari menggunakan zij termodifikasi.

- e. Kurva koreksi *Reduction to ecliptic*

Koreksi *reduction to ecliptic* merupakan efek geometris dari pengekspresian gerak Bulan dalam garis bujur di bidang ekliptika, meskipun gerakannya benar-benar terjadi di bidang orbit bulan dengan kemiringan

²²⁰Ernest W. Brown, *An Introductory...*, hlm. 110. Oliver Motenbruck, *Astronomy...*, hlm. 153.

sekitar 5 derajat.²²¹ Suku koreksi bernilai sekitar 8 menit. Kurva koreksi *Reduction to ecliptic* digambarkan berdasarkan nilai *double argumen of latitude moon* (2F).

Ruler pada penggaris untuk suku koreksi ini bersatuan menit. Perpotongan ruler dengan kurva ini akan menunjukkan suku koreksi *reduction to ecliptic* pada saat tertentu. Nilai *argument of latitude Moon* (F) dicari menggunakan tabel termodifikasi.

- f. Kurva koreksi *Paralactic inequality* atau Ketidaksamaan paralaks

Koreksi Ketidaksamaan paralaks membuat gangguan variasi atau suku koreksi *variation* sedikit asimetris sebagai akibat dari jarak terbatas dan paralaks Matahari yang tidak bernilai nol. Efek dari ketidaksamaan paralaks adalah Bulan sedikit tertinggal di kuartal pertama dan sedikit di depan pada kuartal terakhir.²²² Dengan kata lain, koreksi ketidaksamaan paralaks ini merupakan bagian dalam koreksi variasi. Sehingga dua koreksi ini bisa digabungkan menjadi satu bagian.

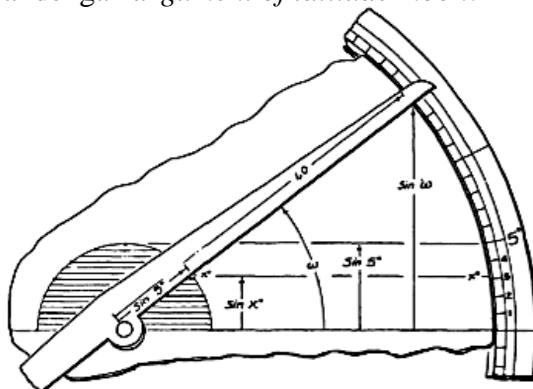
Bentuk kurva ketidaksamaan paralaks menjadi satu dengan koreksi variasi. Nilai ini dicari dari elongasi Bulan yakni selisih bujur ekliptika Bulan dikurangi dengan bujur ekliptika Matahari.

²²¹ Jhon Couch Adams, *Lectures on The Lunar Theory...*, hlm. 44.

²²² Oliver Motenbruck, *Astronomy...*, hlm. 153

3. Kurva Lintang Bulan

Instrumen *Equatorum al-Kashi* menggambarkan setengah lingkaran pada bagian belakang instrumen untuk mencari nilai lintang ekliptika Bulan. Lingkaran ini merupakan bentuk perkalian sinus antara inklinasi maksimal dengan *argument of latitude moon*.²²³



Gambar 7.1. garis lintang pada instrumen *Equatorum al-Kashi*

Secara prinsip penggunaan garis ini mengikuti rumus:

$$\sin \beta^{224} = \sin 5.1^\circ \times \sin F^{225}$$

Perkembangan teknologi plotting data dapat menyederhanakan langkah dalam menentukan nilai lintang Bulan. Penyederhanaan ini menggunakan kurva lintang

²²³ Lihat E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium...*, hlm. 199.

²²⁴ Lintang Ekliptika Bulan.

²²⁵ Argument of the Moon

dengan plotting data berdasarkan nilai *argument of latitude moon* terkoreksi.

Pembuatan kurva ini berdasarkan rumus perkalian sinus $\sin \beta = \sin 5.1^\circ \times \sin F$ terkoreksi. Data nilai F rata-rata diambil dari nilai *zij* termodifikasi. Langkah selanjutnya yakni mencari koreksi untuk *argument of the moon* berdasarkan enam gangguan utama pada pergerakan Bulan. Suku koreksi ini bernilai sama ketika mengambil koreksi untuk perhitungan bujur ekliptika Bulan. Jika ditulis dalam bentuk persamaan, F terkoreksi ditulis sebagai berikut:

$$F \text{ terkoreksi} = F \text{ rata-rata} + q1+q2+q3+q4+q5$$

Keterangan:

F = *Argument of the moon*

q1 = Koreksi *Major Inequality*

q2 = koreksi *Evection*

q3 = koreksi *Variation*

q4 = koreksi *Reduction to Ecliptic*

q5 = koreksi *Annual Inequality*

langkah dalam pengambilan nilai lintang ekliptika Bulan yakni mengetahui nilai F terkoreksi terlebih dahulu. Kemudian arahkan ruler (penggaris) ke nilai F terkoreksi. Selanjutnya lihat perpotongan ruler dengan kurva lintang. Perpotongan ini merupakan nilai lintang ekliptika Bulan yang dicari. Satuan untuk nilai lintang ekliptika Bulan

bersatuan derajat, sehingga nilai yang ditunjukkan ruler merupakan nilai derajat untuk lintang ekliptika Bulan.

4. Kurva *Equation of Time*

Equation of time merupakan selisih antara bujur ekliptika Matahari rata-rata dengan aksensioekta sebenarnya. *Equation of time* dipakai untuk mengoreksi waktu Matahari, agar mendapatkan nilai waktu sebenarnya. Nilai *equation of time* bervariasi tergantung pada posisi Bumi pada peredarannya. Variabel untuk mengambil nilai *equation of time* adalah bujur ekliptika sebenarnya. Nilai ini sangat penting untuk mengoreksi waktu terbenam Matahari.²²⁶

Teknik plotting data dapat diterapkan pada nilai *equation of time*. Nilai *equation of time* didapatkan dari bujur ekliptika Matahari sebenarnya. Kurva *equation of time* dibuat berdasarkan persamaan yakni:²²⁷

$$\Delta\alpha = \lambda - \alpha \text{ sebenarnya}$$

$$\text{Equation of time} = \Delta\alpha/15^\circ$$

Keterangan:

λ = Bujur Ekliptika Matahari rata-rata

α = Aksensioekta

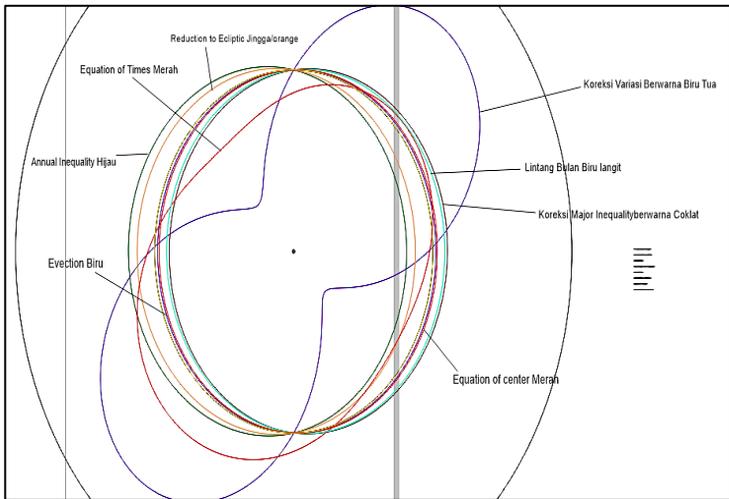
Kurva *equation of time* bersatuan menit. Nilai paling tinggi untuk *equation of time* sekitar 16 menit.

²²⁶ Richard Fitzpatrick, *A Modern Almagest*, Austin: University of Texas, 2002, hlm. 80

²²⁷ *Ibid.*

Sehingga, perpotongan ruler dengan kurva *equation of time* menunjukkan nilai yang bersatuan menit. Langkah pertama dalam mencari *equation of time* adalah menentukan nilai bujur ekliptika Matahari sebenarnya. Selanjutnya nilai bujur ekliptika Matahari dijadikan acuan untuk menggerakkan ruler atau putar ruler searah jarum jam sehingga berada pada nilai bujur ekliptika sebenarnya. Lihatlah Perpotongan ruler dengan kurva *equation of time*, perpotongan ini merupakan nilai *equation of time* yang dicari.

5. Gambar Kurva Koreksi Variabel Bulan, Matahari, *equation of time* dan Lintang Bulan



Gambar 7.2. Kurva koreksi Pergerakan Bulan, Matahari, dan Equation of time

6. Kurva Ekliptika dan garis Equator untuk Transformasi Koordinat

Data ephemeris pada koordinat ekliptika sudah didapatkan pada saat awal perhitungan yakni bujur ekliptika Bulan dan Lintang ekliptika Bulan serta bujur ekliptika Matahari. Data selanjutnya yang dibutuhkan adalah aksensio rekta Matahari Bulan dan Deklinasi Matahari Bulan. Dengan kata lain, kurva ekliptika dan garis ekuator ini dapat berfungsi sebagai transformasi koordinat pada koordinat ekliptika ke koordinat equator. Hasil dari transformasi ini adalah akan di dapatkan nilai aksensio rekta dan deklinasi.²²⁸

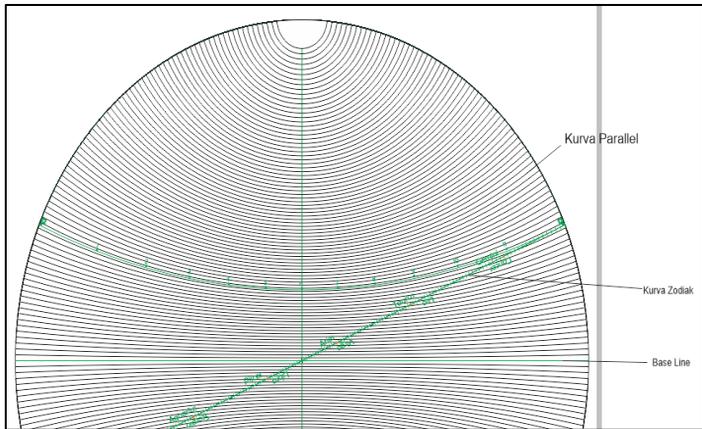
7. Kurva Paralel

Dalam perhitungan awal Bulan Kamariyah, Matahari dan Bulan tidak cukup hanya dipetakan pada koordinat ekliptika, melainkan harus dipetakan pada koordinat equator dan horizon untuk mendapatkan hasil akhir berupa ketinggian hilal. Dalam rangka mencari ketinggian hilal pada suatu lokasi, maka sebuah instrumen astronomi membutuhkan kurva deklinasi dan lintang tempat. Pemetaan posisi benda langit ke dalam kurva deklinasi dan lintang menggunakan teori stereografik.

Teori stereografik ini berfungsi untuk memproyeksi posisi benda langit pada bola langit ke dalam bidang datar.

²²⁸ James E. Morrison, *The Astrolabe*, United America State: Janus, 2006, hlm. 180.

Kurva lintang tempat dan deklinasi dapat dipakai untuk menghitung waktu ghurub. Waktu ghurub ini dipakai sebagai acuan dalam perhitungan posisi rata-rata dalam ziz termodifikasi dan penentuan ketinggian hilal.



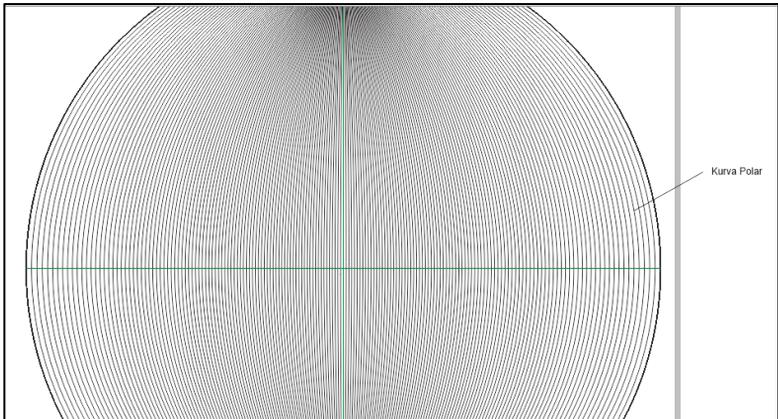
Gambar 7.3. Kurva Paralel, Ekliptika, dan Ekuator²²⁹

8. Kurva Polar

Kurva aksensiorekta dan bujur ini berfungsi untuk menentukan sudut waktu dan nilai aksensiorekta benda langit. Teori dalam pembuatan kurva aksensiorekta dan bujur mengikuti teori stereografik yakni proyeksi benda langit dari piringan bola menjadi pada piringan datar.²³⁰

²²⁹ James E. Morrison, *The Astrolabe...*, hlm. 180

²³⁰ James E. Morrison, *The Astrolabe...*, hlm. 180



Gambar 7.4. Kurva Polar

Kurva polar ini dapat di fungsikan sebagai kurva aksensiorekta dan bujur ekliptika. Bentuk kurva polar ini merupakan busur lingkaran yang puncaknya adalah kutub utara dan kutub selatan.²³¹

9. Hasil Instrumen Termodifikasi

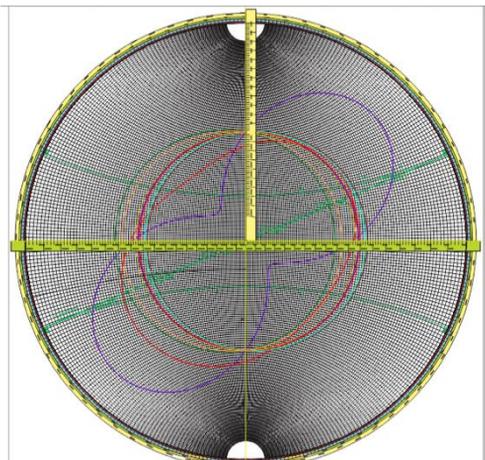
Instrumen termodifikasi ini merupakan gabungan antara universal astrolabe dengan konsep Equatorum al-Kashi termodifikasi. Universal astrolabe memiliki fungsi transformasi koordinat dari ekliptika ke equator begitu juga sebaliknya dari equator ke ekliptika. Kemudian instrumen universal astrolabe juga dapat menentukan posisi benda langit pada koordinat horizon. Data-data ini yang dibutuhkan untuk menentukan ketinggian hilal.

Equatorum al-Kashi termodifikasi merupakan bentuk baru dari instrumen Equatorum al-Kashi al-Kashi

²³¹ James E. Morrison, *The Astrolabe...*, hlm. 180

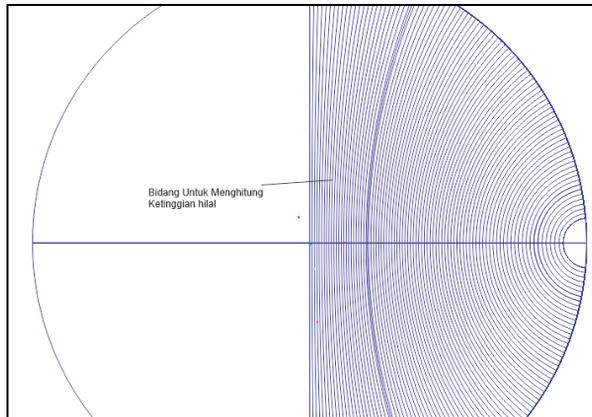
dengan model rekonstruksi modern. Rekonstruksi modern artinya perubahan dalam model plotting data yang digunakan. Pada awalnya instrumen Equatorum al-Kashi menggunakan teori *epicycle* dan *deferent* untuk memplot data koreksi pergerakan Matahari dan Bulan. koreksi untuk posisi Matahari yang dipakai al-Kashi yakni *equation of center* dan koreksi untuk posisi Bulan yakni koreksi *major inequality* atau *equation of center* Moon dan koreksi *Evection*. Hal ini dapat dilihat dari data yang dibutuhkan ketika menggerakkan ruler yakni anomali bulan dan double elongasi dikurangi anomali.

Rekonstruksi dengan teknik modern berupa penggambaran kurva koreksi *equation of center* Sun, Moon, dan *Evection* dengan teknik plotting data menggunakan software excel dan corel draw.



Gambar 7.5. instrumen termodifikasi

10. Bidang Plot dan Transformasi Koordinat



Gambar 7.6. Bidang Plot dan Transformasi Koordinat

Bidang Plot ini merupakan bidang transparan dan berfungsi untuk memberikan point posisi benda langit. Selanjutnya bidang ini akan digunakan untuk mencari ketinggian hilal pada saat tertentu yang sudah diketahui sudut waktunya.²³²

11. Tinjauan Umum Instrument termodifikasi

Secara umum instrumen termodifikasi merupakan bentuk bola langit yang diproyeksikan ke dalam dua dimensi atau bidang datar. Proyeksi ini bertujuan untuk memudahkan atau menyederhanakan perhitungan astronomis yang panjang.

Secara prinsip penggunaan instrumen termodifikasi ini harus memperhatikan beberapa hal yakni:

²³² James E. Morrison, *The Astrolabe...*, hlm. 193.

- a. Penggaris (ruler) yang menunjukkan suku koreksi pergerakan Bulan dan Matahari harus diputar searah dengan jarum jam dan nilai 0 pada ruler harus berada pada kurva berwarna kuning.
- b. Peletakan titik zenith dan lintang tempat harus tepat untuk rete. Jika pengamat berada pada lintang selatan maka titik zenith berada di bawah ekuator. Dan jika lintang utara maka titik zenith berada di atas ekuator.
- c. Lintang tempat ini ditunjukkan dengan nilai horizon sampai ke kutub langit.
- d. Garis tengah dapat didefinisikan dengan beberapa hal yakni garis equator dan garis ekliptika. Garis tengah pada instrument ini merupakan *base line* atau garis awal. Jika transformasi koordinat dilakukan dari ekliptika ke ekuator maka *base line* merupakan garis ekliptika dan kurva ekliptika menjadi garis ekuator. Begitu juga sebaliknya jika transformasi kordinat dari equator ke ekliptika.²³³
- e. Kurva *parallel* merupakan kurva yang mewakili kurva deklinasi, lintang, dan ketinggian. Kurva parallel ini dibuat ke arah kutub langit atau zenith.²³⁴
- f. Kurva *pollar* merupakan kurva yang mewakili nilai bujur dan sudut waktu.²³⁵

²³³ James E. Morrison, *The Astrolabe...*, hlm. 183.

²³⁴ James E. Morrison, *The Astrolabe...*, hlm. 183.

²³⁵ James E. Morrison, *The Astrolabe...*, hlm. 184.

- g. Ruler koreksi merupakan ruler pembidik untuk koreksi *equation of center* Matahari, *equation of time*, *Major Inequality*, *Evection*, *Annual Inequality*, *Reduction to Ecliptic*, *Variation* dan lintang Bulan. Nilai yang ditunjukkan oleh ruler untuk koreksi *equation of center* bersatuan derajat, *equation of time* bersatuan menit, *Major Inequality* dan *Evection* bersatuan derajat, *Annual Inequality*, *Variation*, dan *annual inequality* bersatuan menit.
- h. Instrumen tersebut dapat diatur pada lintang utara dan selatan sampai 85° .

BAB VIII
PENGAPLIKASIAN INSTRUMEN DALAM HISAB AWAL
BULAN KAMARIYAH

A. Modern Equatorum al-Kashi Sebagai Hisab Awal Bulan Kamariyah

Uji coba instrumen termodifikasi dalam perhitungan awal Bulan kamariyah Awal Ramadhan 1427/2006 pada koordinat lintang -7° (lintang selatan) dan bujur timur 110.5° atau $110^\circ 30'$ BT kota Semarang. Pada Perhitungan Sebelum melakukan uji coba pada instrumen ini terlebih dahulu tentukan Julian Day (JD) tanggal Ijtimak. Karena tanggal ini akan digunakan sebagai acuan dalam perhitungan awal bulan bulan.

1. Menghitung Tanggal Ijtimak

Instrumen termodifikasi ini masih belum bisa menentukan ijtimak secara langsung. Untuk mendapatkan tanggal ijtimak, maka diperlukan persamaan dibawah ini. Nilai yang dihasilkan menggunakan persamaan ini adalah tanggal ijtimak berbasis penanggalan Julian Day.

Persamaan untuk menghitung tanggal ijtimak bersesuaian JD adalah sebagai berikut:

$$JD = Int (Tahun tam * 354.36666667 + umur bulan + 1948438.5)$$

Persamaan ini menghasilkan JD tanggal ijtimak yang bersesuaian untuk bujur 0 atau Greenwich. Untuk

mengkonversi ke waktu daerah tertentu maka diperlukan perhitungan selisih bujur ekliptika Bulan dan Matahari dibagi dengan kecepatan pergerakan bulan harian. Umur bulan yang dipakai adalah bulan ke-2 =30, bulan ke-3 =59, Bulan ke-4 = 89, bulan ke-5 = 118, bulan ke-6 =148, bulan ke-7 = 177, bulan ke-8 = 207, bulan ke-9 =236, bulan ke-10 = 266, bulan ke-11 = 295, bulan ke-12 = 325, bulan ke-1 = 354. Nilai 1948438.5 merupakan nilai Julian day ijtimak pada tanggal 15 Juli 622 M.

Dalam menghitung JD ijtimak awal Ramadhan 1427 persamaan ini menjadi:

$$JD = Int (1426 * 354.36666667 + 236 + 1948438.5)$$

Hasil dari perhitungan ini adalah JD ijtimak awal ramadhan **2454001**.

2. Menghitung Bujur Ekliptika Matahari pada Julian Day Ijtimak

Instrumen termodifikasi membutuhkan nilai Bujur ekliptika Matahari sebagai acuan dalam penentuan waktu ghurub, deklinasi dan aksensioekta Matahari. Penentuan Bujur ekliptika Matahari dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Konversikan nilai JD Ijtimak menggunakan tabel konversi JD ke tanggal Masehi pada bab 2.

JD tanggal ijtimak dikonversi menggunakan tabel menghasil tanggal masehi sebagai berikut:

	Nilai JD	Keterangan
JD Dicari	2454001	
JD Abad 2000	2451544	Dikurangi
Sisa	2457	
Tahun 6	2192	Dikurangi
Sisa	265	
22 September	265	Habis

Angka 2451544 merupakan tahun julian day abad 2000 yang dihitung pada tanggal 31 desember 1999 jam 12 Ut. Tahun 2006 merupakan tahun *common year* sehingga tidak ditambahkan dengan satu. Penambahan satu hari ini ketika bulan yang dicari lebih dari bulan februari.

- Menghitung bujur ekliptika Matahari menggunakan tabel pada instrumen

Menghitung bujur ekliptika menggunakan tabel, acuan yang dijadikan perhitungan adalah jam ghurub rata-rata yakni 18.00 WIB atau 11 UT. Tabel yang penulis modifikasi berdasarkan jam 12 UT. Kemudian pada pembahasan point diatas, JD tanggal ijtimak telah diketahui juga menggunakan acuan waktu jam 12 UT. Sehingga, untuk mendapatkan waktu ghurub rata-rata pada bujur daerah 105° maka dalam proses

perhitungan dikurangi dengan pergerakan Matahari selama satu (1) jam.

- Menghitung Selisih Julian Day Ijtimak waktu ghurub dengan J2000

Waktu		ΔT (JD)
J2000	2451545	2456
JD Ijtimak	2454001	

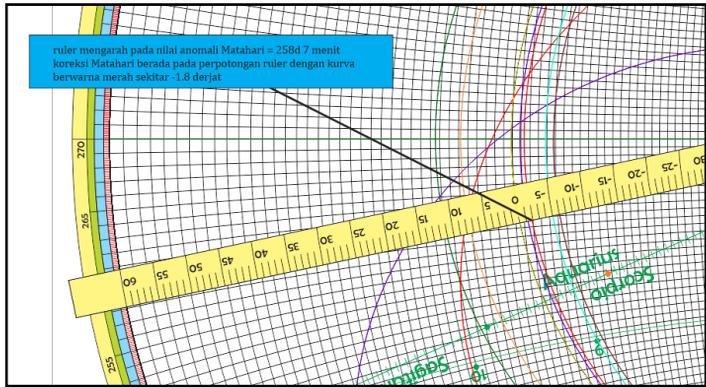
- Menghitung Posisi Matahari rata-rata pada selisih JD dengan Zij Termodifikasi

ΔT (JD)	$\Delta \lambda$ (°)	ΔM (°)
2000	171:17:41	171:12:02
400	34:15:32	34:14:24
50	49:16:57	49:16:48
6	5:54:50	5:54:49
Epoch J200	280:27:39	357:31:45
Dikurang 1 jam	-0:02:28	-0:02:28
Hasil	181:10:31	258:07:20

- Menghitung Bujur Ekliptika Sebenarnya pada waktu Ghurub rata-rata dengan menggunakan instrumen

Untuk mencari nilai bujur ekliptika sebenarnya, putarlah ruler koreksi (penggaris) berdasarkan nilai anomali Matahari. Persamaan untuk menghitung bujur ekliptika sebenarnya yakni:

Bujur ekliptika sebenarnya = bujur ekliptika rata-
rata+koreksi



Gambar 8.1. Koreksi Equation of Center

Perpotongan kurva berwarna merah untuk koreksi Matahari dengan ruler yang mengarah kepada nilai anomali merupakan nilai koreksi untuk mendapatkan bujur ekliptika sebenarnya dari Matahari. Koreksi untuk bujur Matahari bernilai sekitar -1.8 derajat.

$$\text{Bujur ekliptika} = 181:10:31 + (-1.8^\circ) = 179^\circ 22'31''$$

- Konversikan Bujur Ekliptika sebenarnya ke dalam tanda zodiak, dengan menggunakan tabel dibawah ini:

Derajat	Rasi Zodiak	Derajat	Rasi zodiak
0-30	Aries	181-210	Libra
31-60	Taurus	211-240	Scorpio
61-90	Gemini	241-270	Sagittarius
91-120	Cancer	271-300	Capricorn

121-150	Leo	301-330	Aquarius
151-180	Virgo	331-360	Pisces

Bujur ekliptika sebenarnya Matahari bernilai $179^{\circ} 22' 31''$ sama dengan $29^{\circ} 22' 31''$ rasi Virgo.

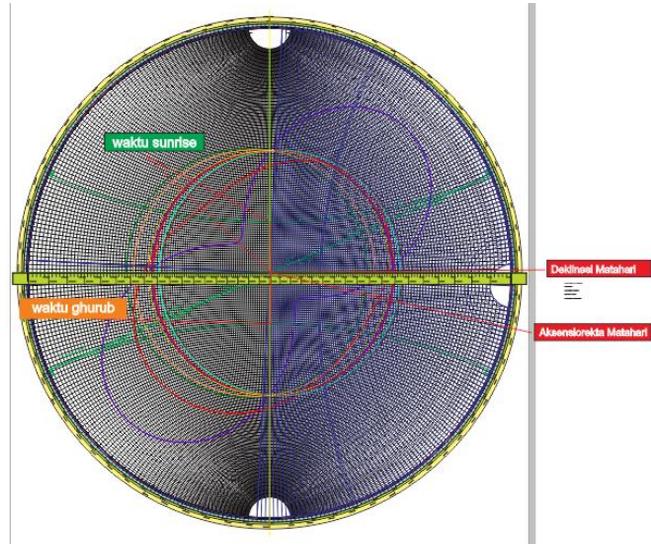
- Berikan tanda pada pada kurva ekliptika senilai dengan bujur ekliptika sebenarnya.

3. Menentukan Waktu Ghurub Sebenarnya

- Bujur ekliptika sebenarnya sudah diketahui yakni $179^{\circ} 22' 31''$ atau $29^{\circ} 22' 31''$ pada rasi Virgo.
- Letakkan rete horizon pada lintang -7° . Titik zenit berada di bawahekuator. Garis tengah merupakan garis ekuator.
- Lihat perpotongan ruler (penggaris) dengan kurva *parallel* deklinasi. Perpotongan antara kurva *parallel* dengan nilai bujur ekliptika sebenarnya menunjukkan nilai deklinasi. kemudian jika diukur dari titik aries sepanjang ekuator, maka panjang bujur yang ditunjukkan oleh penggaris mewakili nilai aksensioekta Matahari.
- Waktu *sunset* atau ghurub ditunjukkan dari titik perpotongan deklinasi sampai ke horizon atau Busur *polar* yang berpotongan dengan titik bujur ekliptika dan busur deklinasi merupakan waktu terbit dan terbenam. Waktu terbit dibaca dari label atas atau atas garis equator. Dan waktu terbenam dibaca dari label bawah atau bawah garis ekuator. Waktu yang

ditunjukkan adalah waktu hakiki. Sehingga untuk mengetahui waktu ghurub di bujur 105° dikonversikan terlebih dahulu dari waktu hakiki ke waktu daerah. Konversi ini dilakukan dengan persamaan:

$$WD = WH - \text{equation of time} + \text{selisih bujur}/15$$



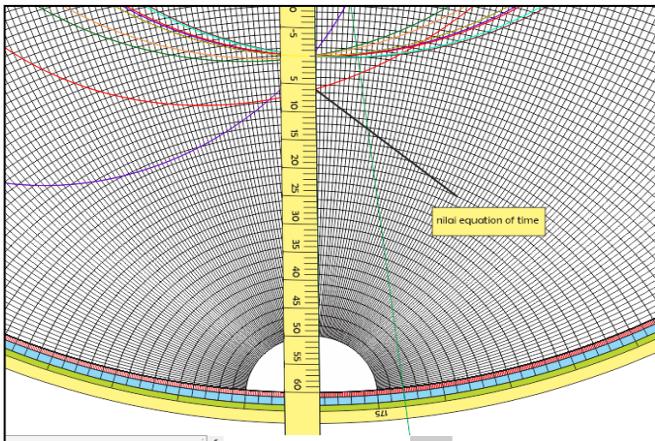
Gambar 8.2. Instrumen diposisikan pada lintang -7° dan digunakan untuk mencari deklinasi, aksensioekta, waktu terbit, dan waktu terbenam.

Nilai yang dihasilkan sebagai berikut:

- Deklinasi sekitar $+0^\circ 20'$
- Waktu terbit hakiki sekitar 6.00 AM/ 6.00
- Waktu terbenam hakiki sekitar 6.00 PM/ 18.00
- Sudut waktu terbenam Matahari yakni $6 \times 15 = 90^\circ$
- Aksensioekta Matahari sekitar $179^\circ 35'$.

- Azimuth Matahari dapat diketahui juga dengan cara 270° ditambah deklinasi Matahari saat ghurub. Sehingga, azimuth Matahari = $270+0^\circ 20'$ (deklinasi positif) sebesar $270^\circ 20'$.
- Membidik nilai *equation of time*

Nilai *equation of time* dicari dengan cara mengarahkan ruler koreksi senilai dengan bujur ekliptika Matahari sebenarnya.



Gambar 8.3. Mencari *Equation of time*

Nilai yang ditunjukkan ruler (penggaris) pada perpotongannya dengan kurva *equation of time* merupakan nilai *equation of time* pada waktu tersebut. Nilai yang terbidik adalah sekitar + **(Positif) 6 menit**.

- Menghitung waktu ghurub sebenarnya

Waktu yang ditunjukkan pada instrumen merupakan waktu hakiki. Sehingga, untuk

mendapatkan waktu ghurub pada bujur pengamat perlu dilakukan konversi dari waktu hakiki ke waktu daerah.

$$\text{Waktu Daerah} = WH_{\text{terbenam}} - \text{Equation of time} + \text{selisih bujur}/15$$

$$\text{WD} = 06.00 - 6 \text{ menit} + (- 22 \text{ Menit})$$

$$\text{WD} = 05.32 \text{ PM WIB} / 17.32 \text{ WIB}$$

4. Menghitung posisi rata-rata Matahari dan Bulan pada Jam Ghurub Sebenarnya

- Menghitung Posisi Matahari pada Jam Ghurub Sebenarnya

ΔT (JD)	$\Delta \lambda$ (°)	ΔM (°)
2000	171:17:41	171:12:02
400	34:15:32	34:14:24
50	49:16:57	49:16:48
6	5:54:50	5:54:49
Epoch J200	280:27:39	357:31:45
-1 Jam	0:02:28	0:02:28
28 Menit	0:01:09	0:01:09
Hasil	181° 9' 22''	258° 6' 11''

- Menghitung Posisi rata-rata Bulan pada Jam Ghurub Sebenarnya

ΔT (JD)	$\Delta \lambda$ (°)	$\Delta M'$ (°)	ΔF (°)	ΔD (°)
2000	72:43:05	209:59:09	178:42:05	261:29:50
400	230:32:37	185:59:50	251:44:25	196:17:58
50	298:49:05	293:14:59	301:28:03	249:32:15
6	79:03:29	78:23:24	79:22:34	73:08:40
Epoch J2000	218:24:54	134:55:15	93:16:20	297:50:25
-1 Jam	0:32:56	0:32:40	0:33:04	0:30:29
28 menit	0:15:22	0:15:15	0:15:26	0:14:13
Hasil	178°44'52''	181°44'41''	183°44'56''	357°34'26''

5. Menentukan Bujur Ekliptika Sebenarnya, Aksensioekta, dan Deklinasi Matahari dan sudut waktu Matahari saat ghurub sebenarnya

karena posisi rata-rata Matahari saat ghurub rata-rata dengan saat ghurub sebenarnya berselisih sekitar 2 menit maka bujur ekliptika sebenarnya Matahari dianggap sama dengan bujur ekliptika sebenarnya saat ghurub rata-rata. Begitu pula dengan nilai deklinasi Matahari dan aksensioekta dianggap sama. Data yang dihasilkan instrumen yakni sebagai berikut:

- Bujur ekliptika Matahari sekitar $179^{\circ} 22' 31''$
- Deklinasi Matahari = $+0^{\circ} 20'$.
- Waktu ghurub hakiki sekitar 06.00 PM
- Sudut waktu matahari ketika terbenam dapat dicari secara langsung dengan cara Waktu hakiki dikali 15.

$$\text{Sudut waktu Matahari} = \text{WH} * 15$$

$$\text{Sudut waktu Matahari} = 6 * 15 = 90^\circ$$

- Aksensiorekta Matahari sekitar $179^\circ 35'$.

Untuk mencari aksensiorekta Matahari, dicari dengan cara arahkan ruler ke nilai sudut deklinasi kemudian lihat perpotongan antara bujur ekliptika dengan deklinasi, nilai ruler pada perpotongan ini adalah menunjukkan nilai aksensiorekta. Nilai aksensiorekta kadang lebih besar dari nilai bujur ekliptika dan kadang juga lebih kecil dari nilai bujur ekliptika. Hal ini tergantung nilai deklinasi Matahari. Ketika deklinasi Matahari pada titik aries sampai *Gemini* bernilai cenderung **lebih kecil**. Ketika deklinasi Matahari pada titik *Cancer* sampai *Virgo* cenderung **lebih besar**. Ketika pada titik *Libra* sampai pada *sagitarius* cenderung **lebih kecil**. Dan ketika dari titik *Capricorn* sampai *Pisces* cenderung **lebih besar**.



Gambar 8.4. Mencari Deklinasi dan Aksensiorekta Matahari

Pada tanggal ini, Matahari berada pada rasi bintang virgo. Nilai aksensio rekta yang ditunjukkan instrumen yakni sekitar $179^{\circ} 35'$.

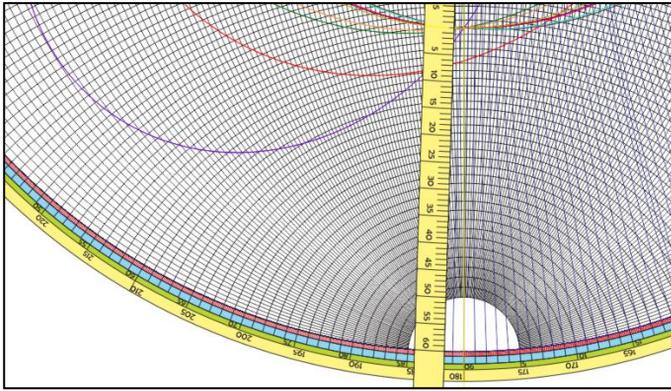
6. Menentukan Bujur Ekliptika sebenarnya Bulan

Penentuan bujur ekliptika Bulan dilakukan dengan menjumlahkan bujur rata-rata Bulan dengan kurva gangguan utama pada pergerakan Bulan. q_1 merupakan koreksi *major inequality* (persamaan pusat Bulan), q_2 koreksi *evection* (eveksi), q_3 koreksi *variation* (variasi), q_4 koreksi *annual inequality* (persamaan tahunan) dan q_5 merupakan *reduction to ecliptic*. Atau dituliskan dengan persamaan yakni:

$$\begin{aligned} \text{Bujur Ekliptika}_{\text{sebenarnya}} &= \\ \text{Bujur Ekliptika}_{\text{rata-rata}} + q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 \end{aligned}$$

- **Membidik nilai q_1 koreksi *major inequality***

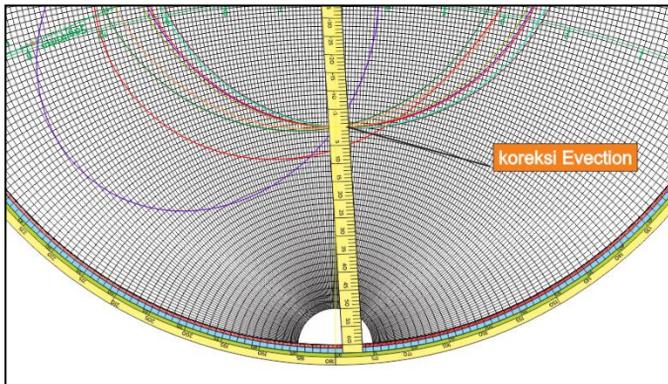
Membidik nilai koreksi *major inequality* dengan cara mengarahkan ruler koreksi ke nilai anomali Bulan $\Delta M'$. anomali Bulan senilai $181^{\circ}44'41''$. Nilai pada ruler untuk koreksi ini bersatuan derajat. Kurva koreksi untuk *major inequality* berwarna **coklat**. Nilai yang terbidik di ruler sekitar 0° .



Gambar 8.5. Mencari koreksi Major Inequality

- **Membidik nilai q2 koreksi *evection***

Membidik nilai koreksi *evection* dengan cara mengarahkan ruler koreksi ke nilai double elongasi dikurangi anomali bulan. Sehingga $2 \times 357^{\circ}34'26'' - 181^{\circ}44'41'' = 174^{\circ}10'27.5''$ Kurva koreksi *evection* berwarna **biru**.

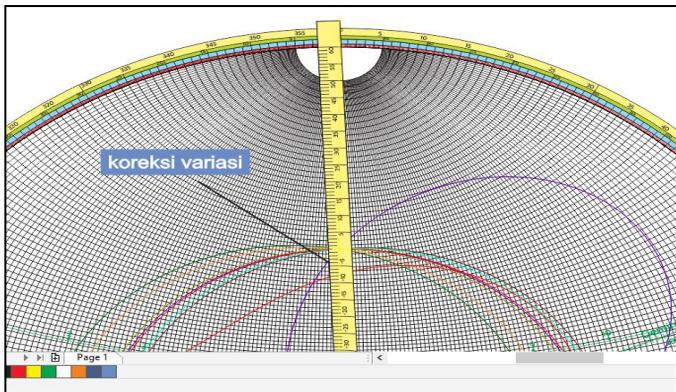


Gambar 8.6. Mencari Koreksi Evection

Nilai suku koreksi *evection* dilihat dari perpotongan ruler dengan kurva eveksi yang berwarna **biru**. Nilai yang ditunjukkan oleh ruler sekitar 0° .

- **Membidik nilai q3 koreksi *variation***

Membidik nilai koreksi *Variation* atau variasi dengan cara mengarahkan ruler koreksi ke nilai elongasi (D). Kurva koreksi variasi berwarna biru berbentuk seperti kacang. Penulis menyebut koreksi variasi ini dengan *peanut correction*. Nilai elongasi $357^\circ 34' 26''$.



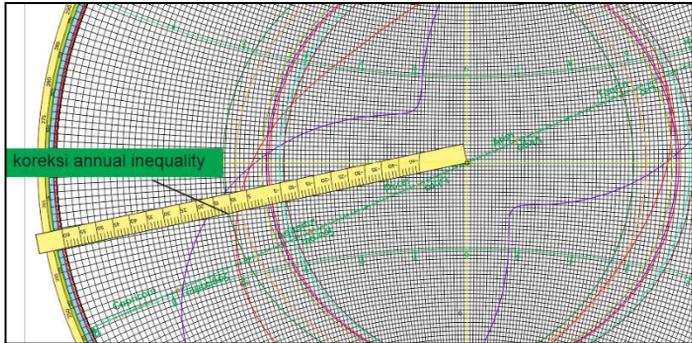
Gambar 8.7. Mencari Koreksi Variasi

Nilai yang ditunjukkan ruler sekitar $-0^\circ 3' 15''$.

- **Membidik nilai q4 koreksi *Annual Inequality***

Membidik nilai koreksi *Annual Inequality* atau variasi dengan cara mengarahkan ruler koreksi ke nilai anomali Matahari. Kurva persamaan tahunan pada

instrumen berwarna hijau. Anomali Matahari bernilai $258^{\circ} 6' 11''$.

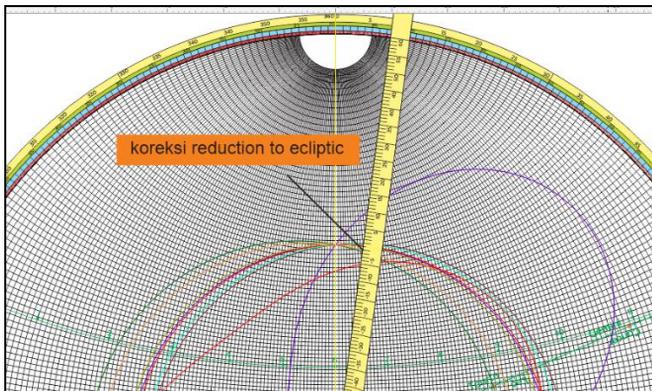


Gambar 8.9. Mencari Koreksi Annual Inequality

Nilai yang ditunjukkan ruler sekitar $+0^{\circ} 11'$.

- **Membidik nilai q_5 reduction to ecliptic**

Membidik nilai koreksi *reduction to ecliptic* dengan cara mengarahkan ruler koreksi ke nilai double *argument of latitude moon* atau $2F$. sehingga ruler diarahkan senilai $2 * F = 2 * 183^{\circ} 44' 56'' = 7^{\circ} 29' 52'$.



Gambar 8.10. Mencari Koreksi *reduction to ecliptic*

Nilai yang ditunjukkan ruler koreksi sekitar $-0^{\circ} 1'$.

- **Menghitung Bujur ekliptika sebenarnya Bulan**

Bujur ekliptika Bulan ditentukan dengan cara menjumlahkan bujur rata-rata bulan dengan nilai suku koreksi yang ditunjukkan oleh instrumen. q1 koreksi *major inequality* bernilai 0° , q2 koreksi *evectio* bernilai 0° , q3 koreksi *Variation* bernilai $-0^\circ 3' 15''$, q4 koreksi *Annual Inequality* bernilai $+0^\circ 11'$, dan q5 koreksi *reduction to ecliptic* bernilai $-0^\circ 1'$. Sehingga, bujur ekliptika Bulan sebenarnya yakni:

$$\begin{aligned} \text{Bujur Bulan}_{\text{sebenarnya}} &= \text{bujur rata-rata} + \\ &\quad q1+q2+q3+q4+q5 \\ \text{Bujur} &= 178^\circ 44' 52'' + 0^\circ + 0^\circ + (-0^\circ 3') + 0^\circ \\ &\quad 11' + (-0^\circ 1'). \end{aligned}$$

$$\text{Bujur Ekliptika Sebenarnya Bulan} = \mathbf{178^\circ 51' 52''}$$

Bujur ekliptika Bulan sebenarnya dapat juga dicari dengan cara mengarahkan ruler panjang ke arah bujur ekliptika bulan rata-rata. Kemudian ruler yang pendek berfungsi untuk membidik nilai suku koreksi yang selanjutnya, jika ruler koreksi menunjukkan nilai negatif maka ruler panjang digeser berlawanan arah jarum jam senilai suku korek yang ditunjukkan ruler pendek. Jika positif maka ruler panjang di geser searah jarum jam.

7. Lintang Ekliptika Sebenarnya Bulan

Lintang ekliptika Bulan dapat diketahui secara langsung dengan cara mengarahkan ruler pendek ke nilai

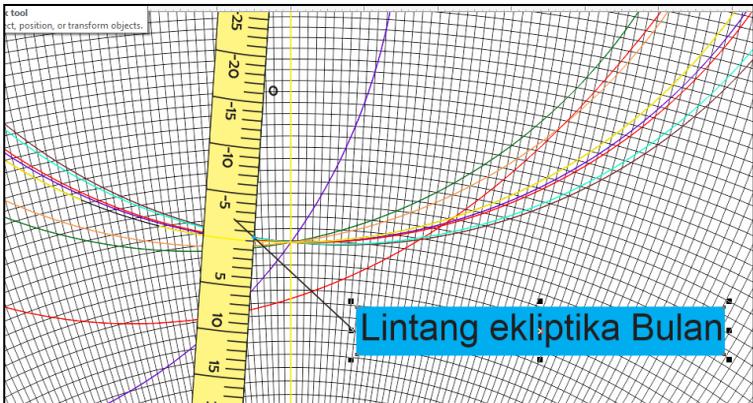
argument of latitude moon terkoreksi, kemudian lihat perpotongan ruler pendek dengan kurva lintang ekliptika Bulan. Perpotongan ruler dengan kurva lintang ekliptika Bulan menunjukkan nilai lintang Bulan yang berada pada ruler. Kurva lintang ekliptika Bulan berwarna **Biru langit**. Kurva lintang ekliptika Bulan bersatuan derajat.

Nilai *argument of latitude moon* (F) terkoreksi dicari dengan cara menjumlahkan nilai *argument of latitude moon* rata-rata dengan lima koreksi gangguan utama pada pergerakan Bulan.

$$F \text{ terkoreksi} = F \text{ rata-rata} + q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5$$

$$F \text{ terkoreksi} = 183^\circ 44' 56'' + 0^\circ + 0^\circ + (-0^\circ 3') + 0^\circ 11' + (-0^\circ 1')$$

$$F \text{ terkoreksi} = 183^\circ 51' 56''$$



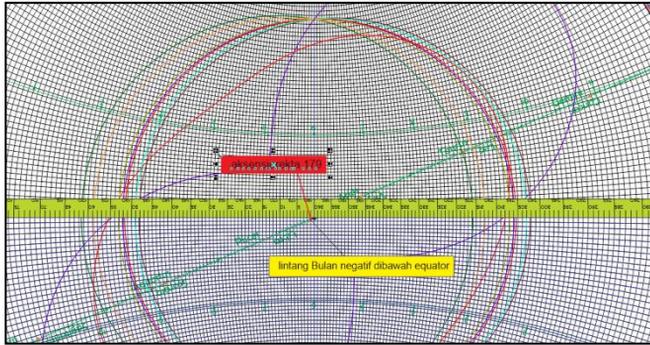
Gambar 8.11. Mencari Lintang Bulan
 Nilai lintang Bulan yang terbidik dengan ruler yakni
 sekitar **-0° 20'**.

8. Menentukan Aksensio rekta dan Deklinasi Bulan

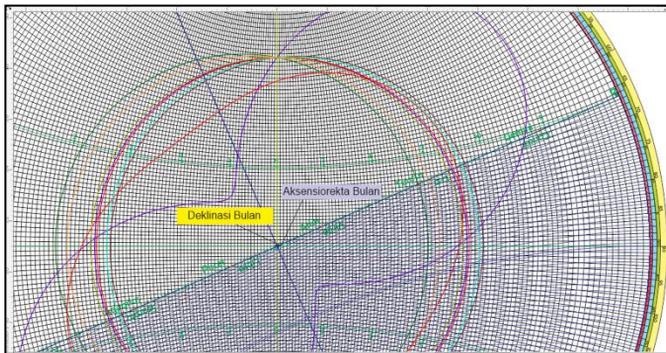
Menentukan nilai aksensio rekta Bulan dan deklinasi Bulan dilakukan dengan cara mengarahkan rete horizon ke *base line* (*base line* merupakan garis tengah). Setelah rete horizon berada pada garis tengah (garis ini kadang-kadang dapat didefinisikan dengan garis ekliptika atau equator), maka berikan titik pada rete senilai dengan bujur Bulan dan lintang Bulan. karena rete horizon ini transparant maka pememberian titik ini dapat dilakukan dengan menggunakan spidol.

Kurva *parallel* menunjukkan nilai lintang dan kurva *polar* menunjukkan nilai bujur. Langkah selanjutnya adalah memutar *rete horizon* senilai dengan 23.5° atau senilai kemiringan bidang ekuator dengan bidang ekliptika. Langkah ini merupakan langkah transformasi koordinat pada koordinat *equator* ke koordinat *ekliptika*.

Titik tersebut setelah diarahkan pada kurva (garis) 23.5° (*equator*) maka titik tersebut menunjukkan posisi Bulan pada koordinat equator.



Gambar 8.12. peletakan titik pada lintang ekliptika bulan negatif dan bujur ekliptika Bulan sekitar $178^{\circ} 52'$.



Gambar 4.13. setelah bidang plot diputar senilai pada kemiringan ekliptika.

Titik pada gambar pertama merupakan setting pada koordinat ekliptika dan menghasilkan koordinat equator (gambar selanjutnya) yakni aksensiorekta Bulan dan Deklinasi Bulan. aksensiorekta diukur sepanjang lingkaran equator dan deklinasi diukur dari bidang equator. Jika titik tersebut berada di atas equator maka deklinasi bernilai

positif dan jika titik tersebut berada dibawah equator maka bernilai negatif.

Kurva parallel merepresentasikan busur deklinasi dan kurva polar merepresentasikan busur aksensioekta. Transformasi koordinat dari ekliptika ke equator menghasilkan data deklinasi Bulan sekitar $+0^{\circ} 20'$ (titik berada diatas equator) dan aksensioekta Bulan sekitar $178^{\circ} 57'$ (titik aksensioekta tidak pas pada nilai 179°).

9. Menentukan Sudut Waktu Bulan

Sudut waktu Bulan ditentukan dengan persamaan *local sidereal time*. *Local sidereal time* Matahari sama dengan *local sidereal time* Bulan. *Local Siderela time* dirumuskan dengan aksensioekta (α) ditambah dengan sudut waktu (t). Persamaan ini digunakan karena segitiga bola Bulan dan Matahari parallel. Sudut waktu matahari yang digunakan adalah ketika waktu terbenam hakiki

$$LST_{Matahari} = LST_{Bulan}$$

$$\alpha_{Matahari} + t_{Matahari} = \alpha_{Bulan} + t_{Bulan}$$

$$179^{\circ} 35' + 90^{\circ} = 178^{\circ} 57' + t_{Bulan}$$

$$t_{Bulan} = 179^{\circ} 35' + 90^{\circ} - 178^{\circ} 57'$$

$$t_{Bulan} = 90^{\circ} 38'$$

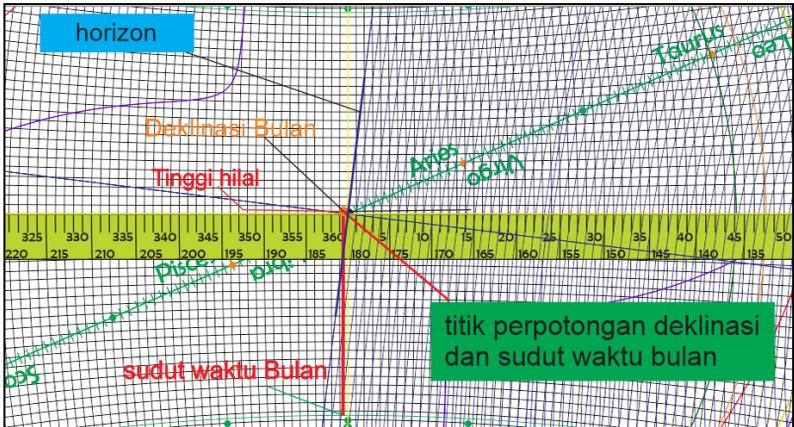
10. Menentukan Ketinggian Hilal Hakiki

Ketinggian hilal dapat ditemukan secara langsung dengan menggunakan instrumen. Langkah pertama adalah mengatur alat pada posisi lintang pengamat yakni -7° (posisi awal ketika menghitung waktu ghurub). Pastikan

bahwa titik zenith berada dibawah ekuator ketika di lintang selatan dan garis zenit tepat berada pada 90° dihitung dari ufuk.

Langkah selanjutnya adalah mencari titik perpotongan antara busur deklinasi bulan dengan busur sudut waktu bulan. busur sudut waktu diwakili oleh busur *polar* dan busur deklinasi diwakili oleh busur *parallel*.

Selain tinggi hilal instrumen ini juga dapat menemukan waktu terbenam hilal dan azimuth bulan ketika terbenam. Waktu bulan terbenam dapat dilihat pada perpotongan busur deklinasi bulan dengan horizon, kemudian dilihat dengan label jam bagian bawah. Waktu yang ditunjukkan label jam bagian bawah adalah waktu hilal terbenam hakiki. Sedangkan azimuth bulan dapat ditentukan dengan cara $270^\circ +$ deklinasi Bulan.



Gambar 8.14. Mencari Ketinggian Hilal dari nilai deklinasi dan sudut waktu Bulan

Tinggi hilal yang terbaca oleh instrumen yakni dibawah ufuk sekitar -1° . Karena tinggi hilal negatif maka waktu terbenam bulan tidak diperlukan. Nilai azimuth Bulan ketika terbenam dapat dicari dengan cara $270^\circ +$ deklinasi Bulan. azimuth Bulan ketika terbenam sekitar $270^\circ 20'$.

11. Kesimpulan

No	Keterangan	Nilai
1	Bujur ekliptika Matahari	$179^\circ 22' 31''$
2	Waktu terbenam Matahari	17.32 WIB
3	Sudut waktu terbenam Matahari	90°
4	Aksensiorekta Matahari	$179^\circ 35'$
5	Deklinasi Matahari	$+0^\circ 20'$
6	Azimuth Matahari terbenam	$270^\circ 20'$
7	Bujur Ekliptika Bulan	$178^\circ 51' 52''$
8	Lintang Ekliptika Bulan	$-0^\circ 20'$
9	Aksensiorekta Bulan	$178^\circ 57'$
10	Deklinasi Bulan	$+0^\circ 20'$
11	Sudut Waktu Bulan	$90^\circ 38'$
12	Tinggi Bulan	-1°
13	Azimuth Bulan Terbenam	$270^\circ 20'$
14	Tanggal Ijtimak	22 September 2006

Tabel 8.1. Hasil Perhitungan Ketinggian Hilal saat Ijtimak

Awal Ramadhan 1427 H

**B. Hasil Perhitungan Awal Ramadhan 1427/2006 Instrumen
Modern Equatorum al-Kashi**

JD tanggal Ijtimak		2454002	
Awal Ramadhan (30 Rajab) 1427 H			
Konversi Ke Masehi			
	Nilai JD	Keterangan	
JD Dicari	2454002		
JD Abad 2000	2451544	Dikurangi	
Sisa	2458		
Tahun 6	2192	Dikurangi	
Sisa	295		
23 September	266	Habis	
Tanggal	23 September 2006		
Menghitung selisih Julian Day Ijtimak			
Waktu		ΔT (JD)	
J2000	2451545	2457	
JD Ijtimak	2454002		
Menghitung Posisi Matahari rata-rata saat ghurub rata-rata 11.00 UT/18.00 WIB pada selisih JD dengan Zij			
Termodifikasi			
2000	171:17:41	171:12:02	
400	34:15:32	34:14:24	

50	49:16:57	49:16:48	
7	6:53:58	6:53:57	
Epoch J2000	280:27:59	357:31:45	
dikurangi 1 jam	0:02:28	0:02:28	
Hasil	182:09:39	259:06:28	

Menghitung Bujur Ekliptika Sebenarnya Matahari

Bujur Ekliptika Matahari	= 182:09:39 + (-1.8°) = 180° 21' 39''
Posisi Matahari	Pada rasi Libra 0° 21' 39'
Deklinasi Matahari	-0° 20'
Aksensioirekta Matahari	180° 30'
Waktu terbit hakiki	5.58 AM
Waktu terbenam hakiki	6.02 PM/ 18.06
Sudut waktu terbenam Matahari	= 6.02 *15 = 90° 30'
Azimuth Matahari	269° 40'
<i>Equation of time</i>	+6 menit
Waktu ghrub daerah sebenarnya	5.34 PM/ 17.34 WIB

Menghitung Posisi Bulan pada Jam Ghurub Sebenarnya

ΔT (JD)	$\Delta \lambda$	$\Delta M'$	ΔF	ΔD
2000	72:43:05	209:59:09	209:59:09	261:29:50
400	230:32:37	185:59:50	185:59:50	196:17:58

50	298:49:05	293:14:59	293:14:59	249:32:15
7	92:14:04	91:27:18	91:27:18	85:20:07
epoch J2000	218:24:54	134:55:15	93:16:20	297:50:25
-1 jam	0:32:56	0:32:40	0:32:40	0:30:29
26 menit	0:14:16	0:14:16	0:14:16	0:13:12
Hasil	191:56:32	194:49:34	196:59:48	9:46:53

Menentukan Bujur Ekliptika Bulan

Membidik nilai q1 koreksi <i>major inequality</i>	= 194:49:34. (anomali Bulan) = - 1° 30' (Negatif).
Membidik nilai q2 koreksi <i>evection</i>	= 184° 44' 12'' (2D-M') = +0°
Membidik nilai q3 koreksi <i>variation</i>	= 9° 46' 53' (elongasi) = +0° 13'
Membidik nilai q4 koreksi <i>Annual Inequality</i>	= 259°06'28'' (Anomali Matahari) = +0° 11'
Membidik nilai q5 <i>reduction to ecliptic</i>	= 33° 59' 36'' (2*F) = -0° 4'
Bujur Ekliptika Bulan	= 191°56' 32'' + (- 1° 30') + 0° + +0° 13' + 0° 11' -0° 4' = 190° 46' 32''

Menentukan nilai lintang ekliptika Bulan

F terkoreksi	= 196:59:48 + (- 1°30') + 0° + 0° 13' + 0° 11' - 0° 4' = 195° 49' 48''
--------------	--

Lintang Bulan	= $-1^{\circ} 40'$ (Negatif)
Menentukan Asensioekta dan Deklinasi Bulan	
Asensioekta Bulan	189°
Deklinasi Bulan	-6° (Negatif)
Menentukan Sudut Waktu Bulan	
Sudut Waktu Bulan	$\alpha_{Matahari} + t_{Matahari} =$ $\alpha_{Bulan} + t_{Bulan}$ $t_{Bulan} = 180^{\circ} 30' + 90^{\circ} 30' -$ 189° $= 82^{\circ}$
Menentukan Ketinggian Hilal Hakiki	
Tinggi Hilal Hakiki	= $+8^{\circ} 50'$
Azimuth Bulan terbenam	= 264°

Tabel 8.2. Hasil Uji Coba Instrumen Termodifikasi dalam menghitung Perhitungan Awal Ramadhan 1427/2006 Tanggal 30

C. Hasil Perhitungan Awal bulan Dzulhijjah 1440/2019 Instrumen Modern Equatorum al-Kashi

JD tanggal Ijtimak		2458697
Awal Dzulhijjah (29 Dzulqo'dah) 1440 H		
Konversi Ke Masehi		
	Nilai JD	Keterangan
JD Dicari	2458697	
JD Abad 2000	2451544	Dikurangi
Sisa	7153	

Tahun 19	6940	Dikurangi
Sisa	213	
1 Agustus	213	Habis
Tanggal	1 Agustus 2019	
Menghitung selisih Julian Day Ijtimak		
Waktu		ΔT (JD)
J2000	2451545	7152
JD Ijtimak	2458697	
Menghitung Posisi Matahari rata-rata saat ghurub rata-rata 11.00 UT/18.00 WIB pada selisih JD dengan Zij Termodifikasi		
ΔT (JD)	$\Delta \lambda$ (°)	ΔM (°)
7000	59:31:53	59:12:06
100	98:33:53	98:33:36
50	49:16:57	49:16:48
2	1:58:17	1:58:16
Epoch J2000	280:27:59	357:31:45
dikurangi 1 jam	0:02:28	0:02:28
Hasil	129:46:31	206:30:04
Menghitung Bujur Ekliptika Sebenarnya Matahari		
Bujur Ekliptika Matahari	= 129:46:31 + (-1°) = 128° 46' 31''	
Posisi Matahari	pada rasi Leo 8° 46' 31''	
Deklinasi Matahari	+18° 10'	
Aksensiorekta Matahari	131°	
Waktu terbit hakiki	6.09 AM	
Waktu terbenam hakiki	5.51 PM.	

Sudut waktu terbenam Matahari	= $5.51 * 15$ = 87.75°			
Azimuth Matahari	= $288^\circ 10'$			
<i>Equation of time</i>	= $-6^\circ 30'$			
Waktu ghrub daerah sebenarnya	05.36 PM/ 17.36 WIB			
Menghitung Posisi Bulan pada Jam Ghurub Sebenarnya				
ΔT (JD)	$\Delta \lambda$	$\Delta M'$	ΔF	ΔD
7000	74:30:46	14:57:01	14:57:01	15:14:26
100	237:38:09	226:29:57	226:29:57	139:04:30
50	298:49:05	293:14:59	293:14:59	249:32:15
2	26:21:10	26:07:48	26:07:48	24:22:53
epoch J2000	218:24:54	134:55:15	93:16:20	297:50:25
-1 jam	0:32:56	0:32:40	0:32:40	0:30:29
24 menit	0:13:11	0:13:04	0:13:14	0:12:11
Hasil	134:57:24	334:58:37	28:48:25	5:21:17
Menentukan Bujur Ekliptika Bulan				
Membidik nilai q1 koreksi <i>major inequality</i>	= 334:58:37 (anomali Bulan) = $-2^\circ 50'$			
Membidik nilai q2 koreksi <i>evection</i>	= $35^\circ 43' 57''$ (2D-M') = $+0^\circ 40'$			
Membidik nilai q3 koreksi <i>variation</i>	= 5:21:17 (elongasi) = $+0^\circ 7'$			
Membidik nilai q4 koreksi <i>Annual Inequality</i>	= 206:30:04 (Anomali Matahari) = $+0^\circ 5'$			
Membidik nilai q5 <i>reduction to ecliptic</i>	= $57^\circ 36' 50''$ (2*F) = $-0^\circ 6' 30''$			

Bujur Ekliptika Bulan	$= 134:57:24 + (-2^{\circ} 50') + 0^{\circ} 40' +$ $0^{\circ} 7' + 0^{\circ} 5' + (-0^{\circ} 6' 30'')$ $= 132^{\circ} 52' 54''$
Menentukan nilai lintang ekliptika Bulan	
F terkoreksi	$= 28:48:25 + (-2^{\circ} 50') + 0^{\circ} 40' +$ $0^{\circ} 7' + 0^{\circ} 5' + (-0^{\circ} 6' 30'')$ $= 26^{\circ} 43' 55''$
Lintang Bulan	$= +2^{\circ} 20'$
Menentukan Asensio rekta dan Deklinasi Bulan	
Asensio rekta Bulan	136°
Deklinasi Bulan	$+19^{\circ} 10'$
Menentukan Sudut Waktu Bulan	
Sudut Waktu Bulan	$\alpha_{Matahari} + t_{Matahari} =$ $\alpha_{Bulan} + t_{Bulan}$ $t_{Bulan} = 131^{\circ} + 87.75^{\circ} - 136^{\circ}$ $= 82^{\circ} 45'$
Menentukan Ketinggian Hilal Hakiki	
Tinggi Hilal Hakiki	$= +4^{\circ} 50'$
Azimuth Bulan terbenam	$= 289^{\circ} 10'$

Tabel 8.3. Hasil Uji Coba Instrumen Termodifikasi dalam
Menghitung Awal bulan Dzulhijjah 1440/2019

D. Hasil Perhitungan awal Bulan Ramadhan 1440 tanggal 29 Rajab Instrumen Modern Equatorum al-Kashi

JD tanggal Ijtimak		2458609
Awal Ramadhan (29 Rajab) 1440 H		
Konversi Ke Masehi		
	Nilai JD	Keterangan
JD Dicari	2458609	
JD Abad 2000	2451544	Dikurangi
Sisa	7065	
Tahun 19	6940	Dikurangi
Sisa	125	
5 Mei	125	Habis
Tanggal	5 Mei 2019	
Menghitung selisih Julian Day Ijtimak		
Waktu		ΔT (JD)
J2000	2458609	7064
JD Ijtimak	2458697	
Menghitung Posisi Matahari rata-rata saat ghurub rata-rata 11.00 UT/18.00 WIB pada selisih JD dengan Zij Termodifikasi		
ΔT (JD)	$\Delta \lambda$ (°)	ΔM (°)
7000	59:31:53	59:12:06
0	0:00:00	0:00:00
60	59:08:20	59:08:10
4	3:56:33	3:56:33
Epoch J2000	280:27:59	357:31:45
dikurangi 1 jam	0:02:28	0:02:28

Hasil	43:02:18	119:46:06		
Menghitung Bujur Ekliptika Sebenarnya Matahari				
Bujur Ekliptika Matahari	= $43^{\circ}02'18'' + 1.7^{\circ}$ = $44^{\circ}44' 18''$			
Posisi Matahari	Pada rasi Taurus $14^{\circ} 44' 18''$			
Deklinasi Matahari	+ $16^{\circ} 20'$			
Aksensiorekta Matahari	42°			
Waktu terbit hakiki	6.08 AM			
Waktu terbenam hakiki	5.52 PM			
Sudut waktu terbenam Matahari	= $5.52 * 15$ = 88°			
Azimuth Matahari	= $286^{\circ} 20'$			
<i>Equation of time</i>	+ $0^{\circ} 3' 30''$			
Waktu ghrub daerah sebenarnya	05.27 PM/ 17.27 WIB			
Menghitung Posisi Bulan pada Jam Ghurub Sebenarnya				
ΔT (JD)	$\Delta \lambda$	$\Delta M'$	ΔF	ΔD
7000	74:30:46	14:57:01	14:57:01	15:14:26
0	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
60	70:34:54	63:53:58	63:53:58	11:26:42
4	52:42:20	52:15:36	52:15:36	48:45:47
epoch J2000	218:24:54	134:55:15	93:16:20	297:50:25
-1 jam	0:32:56	0:32:40	0:32:40	0:30:29
33 menit	0:18:07	0:18:07	0:18:07	0:16:46
Hasil	55:21:50	265:11:04	304:33:02	12:30:04

Menentukan Bujur Ekliptika Bulan	
Membidik nilai q1 koreksi <i>major inequality</i>	= 265:11:04 (anomali Bulan) = -6.2°
Membidik nilai q2 koreksi <i>evection</i>	= $119^\circ 49' 4''$ (2D-M') = $+1^\circ$
Membidik nilai q3 koreksi <i>variation</i>	= 12:30:04 (elongasi) = $+0^\circ 7'$
Membidik nilai q4 koreksi <i>Annual Inequality</i>	= 119:46:06 (Anomali Matahari) = $-0^\circ 10'$
Membidik nilai q5 <i>reduction to ecliptic</i>	= $249^\circ 6' 4''$ (2*F) = $+0^\circ 7'$
Bujur Ekliptika Bulan	= $55:21:50 + (-6.2^\circ) + 1^\circ + 0^\circ 7' + (-0^\circ 10') + 0^\circ 7'$ = $50^\circ 13' 50''$
Menentukan nilai lintang ekliptika Bulan	
F terkoreksi	= $304:33:02 + (-6.2^\circ) + 1^\circ + 0^\circ 7' + (-0^\circ 10') + 0^\circ 7'$ = $299^\circ 25'$
Lintang Bulan	= $-4^\circ 30'$
Menentukan Asensio rekta dan Deklinasi Bulan	
Asensio rekta Bulan	49°
Deklinasi Bulan	$+13^\circ 30'$
Menentukan Sudut Waktu Bulan	
Sudut Waktu Bulan	$\alpha_{Matahari} + t_{Matahari} =$ $\alpha_{Bulan} + t_{Bulan}$ $t_{Bulan} = 42^\circ + 88^\circ - 49^\circ$ = 81°
Menentukan Ketinggian Hilal Hakki	

Tinggi Hilal Hakiki	= +6° 30'
Azimuth Bulan terbenam	= 273° 30'

Tabel 8.4. Hasil Uji Coba Instrumen Termodifikasi dalam Menghitung awal Bulan Ramadhan 1440 tanggal 29 Rajab

E. Hasil Perhitungan awal Bulan Ramadhan 1440 (satu hari setelah tanggal ijtimak) Instrumen Modern Equatorum al-Kashi

JD tanggal satu hari setelah Awal Ramadhan 1440 H		2458610	
Konversi Ke Masehi			
	Nilai JD	Keterangan	
JD Dicari	2458610		
JD Abad 2000	2451544	Dikurangi	
Sisa	7066		
Tahun 19	6940	Dikurangi	
Sisa	126		
6 Mei	126	Habis	
Tanggal	6 Mei 2019		
Menghitung selisih Julian Day Ijtimak			
Waktu		ΔT (JD)	
J2000	2458610	7065	
JD Ijtimak	2458697		
Menghitung Posisi Matahari rata-rata saat ghurub rata-rata 11.00 UT/18.00 WIB pada selisih JD dengan Zij Termodifikasi			
ΔT (JD)	$\Delta \lambda$ (°)	ΔM (°)	

7000	59:31:53	59:12:06		
0	0:00:00	0:00:00		
60	59:08:20	59:08:10		
5	4:55:42	4:55:41		
Epoch J2000	280:27:59	357:31:45		
dikurangi 1 jam	0:02:28	0:02:28		
Hasil	44:01:26	120:45:14		
Menghitung Bujur Ekliptika Sebenarnya Matahari				
Bujur Ekliptika Matahari	= $44^{\circ}01'26'' + 1.7^{\circ}$			
	= $45^{\circ}43'26''$			
Posisi Matahari	Pada rasi Taurus $15^{\circ}43'26''$			
Deklinasi Matahari	+ $16^{\circ}40'$			
Aksensiorekta Matahari	$43^{\circ}10'$			
Waktu terbit hakiki	6.09 AM			
Waktu terbenam hakiki	5.51 PM			
Sudut waktu terbenam Matahari	= $5.51 * 15$ = $87,75^{\circ}$			
Azimuth Matahari	= $286^{\circ}40'$			
<i>Equation of time</i>	+ $0^{\circ}3'30''$			
Waktu ghrub daerah sebenarnya	05.26 PM/ 17.26 WIB			
Menghitung Posisi Bulan pada Jam Ghurub Sebenarnya				
ΔT (JD)	$\Delta \lambda$	$\Delta M'$	ΔF	ΔD
7000	74:30:46	14:57:01	14:57:01	15:14:26
0	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:00
60	70:34:54	63:53:58	63:53:58	11:26:42

5	65:52:54	65:19:30	65:19:30	60:57:13
epoch J2000	218:24:54	134:55:15	93:16:20	297:50:25
-1 jam	0:32:56	0:32:40	0:32:40	0:30:29
34 menit	0:18:40	0:18:40	0:18:40	0:17:16
Hasil	68:31:52	278:14:25	317:46:15	24:41:01
Menentukan Bujur Ekliptika Bulan				
Membidik nilai q1 koreksi <i>major inequality</i>	= 278:14:25 (anomali Bulan) = -6.2°			
Membidik nilai q2 koreksi <i>evection</i>	= 131° 7' 37" (2D-M') = +1°			
Membidik nilai q3 koreksi <i>variation</i>	= 24:41:01 (elongasi) = +0° 9'			
Membidik nilai q4 koreksi <i>Annual Inequality</i>	= 120:45:14 (Anomali Matahari) = -0° 6'			
Membidik nilai q5 <i>reduction to ecliptic</i>	= 275° 32' 30" (2*F) = +0° 7'			
Bujur Ekliptika Bulan	= 68°31'52" + (-6.2°) + 1° + 0° 9' + (-0° 6') + 0° 7' = 63° 29' 52"			
Menentukan nilai lintang ekliptika Bulan				
F terkoreksi	= 317°46'15" + (-6.2°) + 1° + 0° 9' + (-0° 6') + 0° 7' = 312° 44' 15"			
Lintang Bulan	= -3°40'			
Menentukan Asensio rekta dan Deklinasi Bulan				
Asensio rekta Bulan	62°20'			
Deklinasi Bulan	+17° 20'			

Menentukan Sudut Waktu Bulan	
Sudut Waktu Bulan	$\alpha_{Matahari} + t_{Matahari} =$ $\alpha_{Bulan} + t_{Bulan}$ $t_{Bulan} = 43^{\circ} 10' + 87,75^{\circ} - 62^{\circ} 20'$ $= 68^{\circ} 35'$
Menentukan Ketinggian Hilal Hakki	
Tinggi Hilal Hakiki	$= +17^{\circ} 30'$
Azimuth Bulan terbenam	$= 277^{\circ} 20'$

Tabel 8.5. Hasil Uji Coba Instrumen Termodifikasi dalam Menghitung awal Bulan Ramadhan 1440 (satu hari setelah tanggal ijtimak)

F. Akurasi Instrumen Termodifikasi Sebagai Hisab Awal Bulan Kamariyah

Uji coba instrumen termodifikasi tersebut dilakukan pada tanggal 29, tanggal 30 hijriah dan tanggal ijtimak. Tahun-tahun yang dipilih yakni tahun-tahun yang memiliki ketinggian hilal positif dan negatif. Ketika ketinggian hilal negatif, maka terjadi istikmal. Instrumen termodifikasi diuji keakurasiannya untuk menentukan ketinggian hilal pada tahun tersebut. Pada tahun tersebut terlihat bahwa apakah terjadi istikmal ataukah tidak jika awal Bulan dihitung menggunakan instrumen termodifikasi.

Uji akurasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan menggunakan hisab kontemporer. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui keakurasian

instrumen termodifikasi dengan standar algoritma yang sudah mapan.

Dalam hal ini penulis menggunakan algoritma Jean Meeus dan aplikasi *Acurate Times*. Alasan pemilihan algoritma Jean Meeus dikarenakan algoritma ini merupakan reduksi dari algoritma ELP-2000 dan VSOP-87. ELP-2000 merupakan algoritma penentuan posisi Bulan yang berdasarkan teori terbaru dan memiliki keakurasian yang sangat akurat. Kemudian algoritma VSOP-87 merupakan algoritma untuk penentuan posisi Matahari dengan ribuan suku koreksi. Dua algoritma ini merupakan dasar teori yang digunakan oleh Jean Meeus. Sehingga, algoritma Jean Meeus dapat menjadi standar ataupun tolak ukur keakurasian sebuah data hisab posisi Bulan dan Matahari.²³⁶

Langkah komparasi dengan hisab kontemporer ini, penulis menyamakan waktu terbenam Matahari dengan hasil perhitungan waktu terbenam Matahari menggunakan instrumen termodifikasi. Tujuan dari penyamaan waktu terbenam ini adalah agar mendapatkan posisi Bulan dan Matahari berdasarkan waktu perhitungan instrumen termodifikasi. Selain itu, penyamaan ini akan memberikan data selisih perhitungan yang jelas antara hisab kontemporer dengan instrumen termodifikasi. Karena waktu ghurub ini merupakan acuan waktu dalam menghitung ketinggian hilal.

²³⁶ Lihat Jean Meeus, *Astronomical Algorithm*,

Selain itu, hasil perhitungan ketinggian hilal instrumen termodifikasi penulis bandingkan dengan hasil perhitungan ketinggian hilal berdasarkan aplikasi *accurate times*. Aplikasi ini merupakan aplikasi yang mewakili hisab kontemporer. Aplikasi tersebut penulis atur dengan lokasi perhitungan yang sama. Kemudian, acuan perhitungan waktu ghurub tidak mengikuti waktu ghurub instrumen. Sehingga, selisih ketinggian hilal instrumen dan hisab kontemporer terlihat jelas.

Lokasi perhitungan yakni adalah lintang -7° (Selatan) dan $110^{\circ} 30'$ Bujur Timur.

1. Akurasi Perhitungan Instrumen Termodifikasi pada Ketinggian Hilal Negatif pada Tanggal 29 dan 30 Hijriah

Uji akurasi dengan model pertama yakni menguji tingkat keakurasian instrumen termodifikasi pada tahun ketinggian hilal negatif atau istikmal. Kemudian menghitung ketinggian hilal satu hari setelah tanggal ijtimaq. uji akurasi dengan model ini bertujuan untuk mengetahui keakurasian instrumen ketika hilal dibawah ufuk dan melihat pergerakan Bulan dalam satu hari berikutnya.

Akurasi dengan model ini selanjutnya dibagi menjadi dua jenis uji akurasi yakni menguji data hasil perhitungan instrumen termodifikasi dengan hisab Jean Meeus menggunakan waktu ghurub yang sama dengan instrumen termodifikasi. Perbandingan ini bertujuan untuk

mengetahui keakuratan hasil perhitungan menggunakan instrumen dengan acuan waktu yang sama.

Jenis ke dua yakni membedakan acuan waktu antara instrumen termodifikasi dengan hisab kontemporer. Acuan waktu yang berbeda dalam artian waktu ghurub. Dalam hal ini penulis menggunakan aplikasi *Accurate Times* sebagai tolak ukur. Tujuan dari perbandingan jenis ke dua ini adalah mengetahui selisih waktu ghurub dan ketinggian hilal berdasarkan acuan waktu yang berbeda.

- a. Akurasi pada Penentuan Awal Ramadhan 1427 H tanggal 29 dan 30 Hijriah

Tanggal 29 Rajab 1427				
Acuan Waktu Perhitungan		17.32 WIB		
		22 September 2006		
Sistem Perhitungan		Instrument termodifikasi	Jean Meeus	Accurate Times
No	Keterangan	Nilai	Nilai	Nilai
1	Bujur ekliptika Matahari	179° 22'31''	179°17'08''	
2	Waktu terbenam Matahari	17.32 WIB	17.32 WIB	17.35 WIB
3	Ketinggian Matahari	0°	-0:20:19	-1:04:59
4	Bujur Ekliptika Bulan	178° 51' 52''	178°44'17''	
5	Lintang Ekliptika Bulan	-0° 20'	- 0°18'38''	
6	Tinggi Bulan	-1°	- 0° 57'05''	-1° 44'

Tabel 8.6. Selisih pada penentuan awal Bulan Ramadhan 1427 H Saat Ijtimak

Tanggal 30 Rajab 1427				
Acuan Waktu Perhitungan		17.34 WIB		
		23 September 2006		
Sistem Perhitungan		Instrument termodifikasi	Jean Meeus	Accurate Times
No	Keterangan	Nilai	Nilai	Nilai
1	Bujur ekliptika Matahari	180° 21' 39''	180°15'56''	
2	Waktu terbenam Matahari	17.34 WIB	17.34 WIB	17:35 WIB
3	Ketinggian Matahari	0	-0:52:28	-1:07:21
4	Bujur Ekliptika Bulan	190° 46' 32''	190°32'52''	
5	Lintang Ekliptika Bulan	-1° 40'	-1°23'18''	
6	Tinggi Bulan	+8° 50'	+8°35'03''	+08°19'28"

Tabel 8.7. Selisih pada penentuan awal Bulan Ramadhan 1427 H
 Satu hari setelah Ijtimak

- b. Akurasi pada Penentuan Awal Ramadhan 1428 H tanggal
 29 dan 30 Hijriah

29 Rajab 1428				
Acuan Waktu Perhitungan		17. 34 WIB		
		11 September 2007		
Sistem Perhitungan		Instrumen termodifikasi	Jean Meeus	Accurate Times
No	Keterangan	Nilai	Nilai	Nilai
1	Bujur ekliptika Matahari	168° 23' 40''	168:19:23	
2	Waktu terbenam Matahari	17. 34 WIB	17. 34 WIB	17.37 WIB
3	Ketinggian Matahari	0	-0:22:25	-1:06:56

4	Bujur Ekliptika Bulan	167° 15' 49''	167:17:58	
5	Lintang Ekliptika Bulan	-1°	- 0:56:05	
6	Tinggi Bulan	-2°	- 1:36:54	-02° 21' 40''

Tabel 8.8. Selisih pada Penentuan Awal Ramadhan 1428 H Saat Ijtimak

Tabel 8.9. Selisih pada Penentuan Awal Ramadhan 1428 H Satu

30 Rajab 1428				
Acuan Waktu Perhitungan		17. 33 WIB		
		12 September 2007		
Sistem Perhitungan		Instrumen termodifikasi	Jean Meeus	<i>Accurate Times</i>
No	Keterangan	Nilai	Nilai	Nilai
1	Bujur ekliptika Matahari	169° 22' 48''	169:17:43	
2	Waktu terbenam Matahari	17. 33 WIB	17. 33 WIB	17.37 WIB
3	Ketinggian Matahari	0	-0:09:59	-1:09:23
4	Bujur Ekliptika Bulan	180° 38' 51''	179°30'33''	
5	Lintang Ekliptika Bulan	-2° 10'	- 2°00'45''	
6	Tinggi Bulan	+ 9° 30'	+9°04'26''	+08°07'31"

hari setelah Ijtimak

c. Akurasi Perhitungan Instrumen Termodifikasi pada Ketinggian Hilal Negatif pada Tanggal 29 dan 30 Hijriah

Data hasil perhitungan dengan instrumen termodifikasi menunjukkan hasil yang cukup mendekati dengan hasil perhitungan hisab kontemporer yang diatur dengan acuan waktu yang sama. Hasil perhitungan dengan

instrumen termodifikasi pada koordinat ekliptika dengan algoritma Jean Meeus berselisih pada satuan menit busur.

Pada perhitungan tanggal 22 September 2006, untuk variabel Matahari Bujur ekliptika Matahari berselisih 5 Menit 23 detik berselisih dengan hisab Jean Meeus. Sedangkan untuk variabel Bulan Bujur Ekliptika Bulan berselisih 7 menit 35 detik busur, Lintang ekliptika Bulan berselisih 1 menit 22 detik dan Tinggi Bulan berselisih 3 menit.

Secara khusus data yang paling penting dalam hisab awal bulan kamariah adalah ketinggian Hilal. Ketinggian hilal ini akan berdampak kepada antara hilal wujud (di atas ufuk) atau di bawah ufuk. Selain itu, Salah satu parameter penentu masuknya awal Bulan kamariah adalah ketinggian hilal. Sehingga, ketinggian hilal yang didapatkan tersebut menghasilkan data yang mendekati dengan hasil perhitungan algoritma modern.

Uji coba pada perhitungan Awal Ramadhan 1427 H tanggal ijtimak yakni 22 September 2006, instrumen termodifikasi menghasilkan ketinggian hilal yang negatif. Hasil ketinggian hilal tersebut mendekati dengan hisab kontemporer. Kemudian satu hari setelah ijtimak yakni tanggal 30 Rajab 1427 atau 23 September 2006 menghasilkan ketinggian Bulan $+8^{\circ}30'$. Nilai ini mendekati dengan hasil hisab Jean Meeus $+8^{\circ}35'03''$.

Jika dilihat posisi Bulan saat Ijtimak dan sesudah Ijtimak pada waktu ghurub, Bulan bergerak dari ketinggian -

1° ke +8°30'. Pergerakan ini bernilai sekitar 9° 30' setelah ijtimak. Kemudian jika dilihat selisih ketinggian hilal dengan *accurate times* berada pada interval 21-53 menit busur untuk ketinggian hilal pada tahun ini.

Selisih ini tentu saja disebabkan oleh acuan waktu ghurub yang berbeda dengan instrumen termodifikasi. Dan Kemudian selisih ini juga disebabkan oleh keakurasian instrumen dalam menentukan posisi Bulan yang hanya menggunakan 5 kurva koreksi. Berbeda dengan hisab kontemporer yang menggunakan ratusan suku koreksi untuk menentukan posisi Bulan.

2. Akurasi Perhitungan Instrumen Termodifikasi pada Ketinggian Hilal Positif pada Tanggal 29 dan 30 Hijriah

a. Akurasi pada Perhitungan Awal Ramadhan 1440 H

Tanggal 29 Rajab 1440 (Awal Ramdahan)				
Acuan Waktu Perhitungan		17.27 WIB		
		5 Mei 2019		
	Sistem Perhitungan	Instrumen Termodifikasi	Jean Meeus	Accurate Times
No	Keterangan	Nilai	Nilai	
1	Bujur ekliptika Matahari	44°44' 18''	44°39'10''	
2	Waktu terbenam Matahari	17.27 WIB	17.27 WIB	17. 31 WIB
3	Ketinggian Hilal	0	-0:06:28	-1:03:38

4	Bujur Ekliptika Bulan	50° 13' 50''	50:32:25	
5	Lintang Ekliptika Bulan	-4°30'	- 4:20:14	
6	Tinggi Bulan	+6° 30'	+7°02'15	+06°01'44"

Tabel 8.10. Selisih pada Perhitungan Awal Ramadhan 1440 H
saat Ijtimak

Satu hari setelah Ijtimak awal Ramadhan 1440 H				
Acuan Waktu		17.26 WIB		
Perhitungan		6 Mei 2019		
	Sistem Perhitungan	Instrumen Termodifikasi	Jean Meeus	<i>Accurate Time</i>
No	Keterangan	Nilai	Nilai	Nilai
1	Bujur ekliptika Matahari	45°43' 26''	45:37:17	
2	Waktu terbenam Matahari	17.26 WIB	17.26 WIB	17.31 WIB
3	Ketinggian Matahari	0	+0:04:32	-1:06:50
4	Bujur Ekliptika Bulan	63° 29' 52''	63:44:53	
5	Lintang Ekliptika Bulan	-3°40'	- 3:37:50	
6	Tinggi Bulan	+17° 30'	+18°05'06''	+16°56'12"

Tabel 8.11. Selisih pada Perhitungan Awal Ramadhan 1440 H
satu hari setelah Ijtimak

b. Akurasi Pada Perhitungan Awal Bulan Syawal 1427/2006

Perhitungan dengan acuan yang sama:

Acuan Waktu Perhitungan		17.29 WIB		
		22 Oktober 2006		
	Sistem Perhitungan	Instrumen Termodifikasi	Jean Meeus	Accurate Times
No	Keterangan	Nilai	Nilai	Nilai
1	Bujur ekliptika Matahari	208° 56' 41''	208:52:54	
2	Waktu terbenam Matahari	17.29 WIB	17.29 WIB	17.33 WIB
3	Ketinggian Matahari	0	-0:14:26	-1:12:50
4	Bujur Ekliptika Bulan	11° 33' 59''	211:17:34	
5	Lintang Ekliptika Bulan	-3°	- 3:04:25	
6	Tinggi Bulan	+1° 30'	+ 1°22'36''	+ 00° 30' 47''

Tabel 8.12. Selisih Pada Perhitungan Awal Bulan Syawal
1427/2006 saat Ijtimak

c. Akurasi Perhitungan pada Awal Bulan Syawal 1428/2007

Acuan Waktu Perhitungan		17.30 WIB		
		11 Oktober 2007		
	Sistem Perhitungan	Instrumen Termodifikasi	Jean Meeus	Accurate Times
No	Keterangan	Nilai	Nilai	
1	Bujur ekliptika Matahari	197° 45' 50''	197:43:49	

2	Waktu terbenam Matahari	17.30 WIB	17.30 WIB	17.33 WIB
3	Ketinggian Matahari	0	-0°25'32''	- 1°09'52''
3	Bujur Ekliptika Bulan	200° 16' 42''	200°13'46''	
4	Lintang Ekliptika Bulan	-3° 30'	- 3°33'42''	
5	Tinggi Bulan	+1° 10'	+ 1°02'21''	+00° 21' 3''

Tabel 8.13. Selisih pada Perhitungan Awal Bulan Syawal 1428/2007 saat Ijtimak

d. Akurasi Perhitungan Awal Syawal 1432/2011

	Waktu Ghurub	17.35 WIB		
	Tanggal Ijtimak	29 Agustus 2011		
	Sistem Perhitungan	Instrumen Termodifikasi	Jean Meeus	Accurate Times
No	Keterangan	Nilai	Nilai	
1	Bujur ekliptika Matahari	155° 48' 42''	155:45:37	
2	Waktu terbenam Matahari	17.35 WIB	17.35 WIB	17.39 WIB
3	Ketinggian Matahari	0	-0°09'02''	-1°07'47''

4	Bujur Ekliptika Bulan	158° 56' 46''	160:07:03	
5	Lintang Ekliptika Bulan	-5°	-4:56:24	
6	Tinggi Bulan	+2° 30'	2:48:55	+01°51'07"

Tabel 8.14. Selisih pada Perhitungan Awal Syawal

1432/2011 Saat Ijtimak

e. Akurasi Perhitungan Awal Dzulhijjah 1432/2011

	Waktu Ghurub	17.30 WIB		
	Tanggal Ijtimak	27 Oktober 2011		
	Sistem Perhitungan	Instrumen Termodifikasi	Jean Meeus	Accurate Times
No	Keterangan	Nilai	Nilai	
1	Bujur ekliptika Matahari	213° 39' 54''	213:39:20	
2	Waktu terbenam Matahari	17.30 WIB	17.30 WIB	17.33 WIB
3	Ketinggian Matahari	0	-0°25'10''	-1°08'41''
4	Bujur Ekliptika Bulan	222° 13' 30''	222:17:50	
5	Lintang Ekliptika Bulan	-3°	-2:47:15	
6	Tinggi Bulan	+ 7° 30'	+7°23'34''	+06°42'48"

Tabel 8.15. Selisih pada Perhitungan Awal Dzulhijjah 1432/2011

saat Ijtimak

f. perhitungan Awal bulan Dzulhijjah 1440/2019

	Waktu Ghurub	17.36 WIB		
	Tanggal Ijtimak	1 Agustus 2019		
	Sistem Perhitungan	Instrumen Termodifikasi	Jean Meeus	Accurate Times
No	Keterangan	Nilai	Nilai	
1	Bujur ekliptika Matahari	128° 46' 31''	128:54:39	
2	Waktu terbenam Matahari	17.36 WIB	17.36 WIB	17.40 WIB
3	Ketinggian Matahari	0	-0°11'14''	-1°07'50''
7	Bujur Ekliptika Bulan	132° 52' 54''	133°13'56''	
8	Lintang Ekliptika Bulan	+2° 20'	+2°16'36''	
12	Tinggi Bulan	+4° 50'.	+ 4°24'16''	+03°30'08"

Tabel 8.16. Selisih pada Awal bulan Dzulhijjah 1440/2019 Saat Ijtimak

3. Akurasi Perhitungan Awal Bulan Kamariah Instrumen Termodifikasi

Akurasi perhitungan Instrumen termodifikasi dalam menentukan awal Bulan kamariah cukup mendekati dengan hasil perhitungan kontemporer dalam hal ini Jean Meeus dan Aplikasi *Accurate Times*. Dari 11 kali percobaan di atas, ketika ketinggian hilal negatif instrumen termodifikasi menghasilkan ketinggian hilal yang negatif juga. Sehingga, menurut perhitungan instrumen ini terjadi

istikmal. Kemudian ketika ketinggian hilal positif, instrumen termodifikasi juga menghasilkan ketinggian hilal positif.

Uji akurasi pada ketinggian hilal negatif untuk awal Ramadhan 1427 dan 1428, instrumen termodifikasi memiliki selisih ketinggian hilal dengan hisab Jean Meeus pada interval 7-23 menit busur. Kemudian satu hari setelah ijtima ketinggian hilal saat ghurub menurut instrumen menjadi $+8^{\circ} 50'$ dan $+9^{\circ} 30'$ (1428). Dari sini terlihat ketinggian hilal saat ghurub naik sekitar 9° .

Kemudian jika dibandingkan dengan aplikasi *Accurate Times*, pada tahun dengan ketinggian Hilal negatif memiliki selisih 21-44 menit busur. Hampir mendekati satu derajat. Selisih ini wajar disebabkan karena acuan waktu yang digunakan berbeda yakni waktu ghurub.

Kemudian jika dilihat pada uji akurasi saat ketinggian hilal positif, instrumen termodifikasi juga menghasilkan ketinggian hilal yang positif. Jika acuan waktu sama, selisih untuk ketinggian hilal instrumen termodifikasi dengan hisab kontemporer berada pada interval Selisih untuk ketinggian hilal ada pada interval 7-46 menit busur untuk waktu ghurub yang sama. Selisih paling kecil yakni 7 menit dan selisih paling besar yakni 44 menit. Kemudian pada perhitungan satu hari setelah ijtima terlihat ketinggian hilal naik 11° . Jika dibandingkan dengan aplikasi *Accurate Times* dengan acuan waktu yang

berbeda selisih ketinggian hilal berada pada interval $44'-1^\circ 30'$.

eror dalam instrumen ini juga dapat disebabkan karena kesalahan dalam membaca nilai dan tergantung pada skala instrumen. Dalam arti jika skala instrumen dibuat per derajat maka ketelitian instrumen merupakan 0.5 dikali 1° . Sehingga, ketelitian instrumen sekitar 30 menit busur. Dengan kata lain, keakurasian instrumen juga ditentukan oleh ukuran instrumen, semakin besar ukuran instrumen maka akurasinya juga akan semakin bagus.

Dengan demikian, akurasi instrumen termodifikasi menunjukkan nilai yang mendekati dengan hisab kontemporer. Ketika ketinggian hilal positif, instrumen termodifikasi juga menghasilkan ketinggian hilal yang positif. Kemudian ketika ketinggian hilal negatif, instrumen termodifikasi juga menghasilkan ketinggian hilal negatif. Untuk ketinggian hilal dengan acuan waktu yang sama akurasi berada pada interval 7-46 menit busur. Kemudian ketinggian hilal setelah tanggal ijtimaik naik sekitar $9-11^\circ$. Kemudian, dengan waktu ghurub yang berbeda akurasi nilai ketinggian hilal berada pada interval 21 menit busur sampai 1 derajat 30 menit busur.

DAFTAR PUSTAKA

- **Buku:**

Adams, Jhon Couch, *Lectures on The Lunar Theory*, London: Cambridge University Press, 1900.

A Jamil, Ilmu Falak (Teori dan Aplikasi), Jakarta: Amzah, 2016, cet-4.

A.E. Roy, *Principles and Practice*, Philadelphia: Institut of Physic Publishing, 1987.

Anugraha Rinto. *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta: MIPA UGM, 2012.

Azhari, Susiknan, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, Pustaka Pelajar: Yogyakarta, 2012.

_____, *Hisab dan Rukyat Wacana untuk Membangun Kebersamaan di Tengah Perbedaan*, Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2007.

_____, *Ilmu Falak Teori dan Praktek*, Yogyakarta: Suara Muhammadiyah, 2004.

_____, *Selayang Pandang Hisab Rukyah*, Jakarta: BIMAS Islam, 2004.

Azwar, Saifuddin. *Metode Penelitian*, Pustaka Pelajar: Yogyakarta. Cet-I, Ed I, 1998.

Badan Hisab dan Ru'yah Departemen Agama, *Almanak Hisab Rukyah*, Jakarta: Proyek Pembinaan Badan Peradilan Agama Islam, 2010.

- Bradley, Michael J., *The Age of Genius 1300 to 1800*, New York: Chelsea House, 2006.
- Brown, Ernest W., *An Introductory treatise on the Lunar Theory*, London: Cambridge University Press, 1896.
- Depag RI, *al-Qur'an dan Terjemahnya*, Semarang, CV Toha Putra, 1989.
- Evans, James, *The History and Practice of Ancient Astronomy*, New York: Oxford University Press, 1998.
- Fitzpatrick, Richard, *A Modern Almagest*, Austin: University of Texas, 2002.
- Hadi, Sutrisno. *Metodologi Riset*, Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2015.
- Hadi Bashori, Muhammad, *Pengantar Ilmu Falak*, Jakarta Timur: Al-Kautsar, 2015.
- Hambali, Slamet, *Pengantar Ilmu Falak (Menyimak Proses Pembentukan Alam Semesta)*, Yogyakarta: Bismillah Publisher, 2012.
- _____, *Ilmu Falak 1*, Semarang: Pascasarjana IAIN Waliosngo, 2011.
- Hockey, Thomas, *Biographical Encyclopedia of Astronomer*, New York: Springer, 2007.
- Hogendijk, Jan P., *al-Kashi Determination of π to 16 decimals in an old manuscript*, Germany: Strauss GmbH, 2009.
- Izzuddin, Ahmad. *Fiqh Hisab Rukyah*, Jakarta: Erlangga, 2007.
- Jones, Alexander. *A Survey of The Almagest*, New York: Springer, 2010.

- al-Kashi, Jamshid Ghiyat al-Din, *Nuzhat al-Hadaiq*, tt. Hlm. 259.
- K. J. Villanueva, *Astronomi Geodesi I*, Bandung: Departemen Geodesi ITB, 1978.
- Kennedy, Edwart Swart. *The Planetary Equatorium Of Jamshid Ghiyath Al-Din Al-Kashi*, United States of America: Princeton University Press, 1960.
- Kerrod, Robin. *Bengkel Ilmu Astronomi*, Jakarta: Penerbit Erlangga, 2005.
- Khazin, Muhyiddin. *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik*, Yogyakarta: Buana Pustaka, 2008.
- _____. *Kamus Ilmu Falak*, Yogyakarta: Buasan Pustaka, 2005
- King, David. *Astronomy the Service of Islam*, Variorum: Britain, 1993.
- _____. *In Synchrony with the heavens Studies in Astronomical Timekeeping and Instrumentation in Medieval Islamic Civilization*, Brill: Leiden, 2004.
- _____. *World-map for finding the direction and distance to Mecca "Innovation and Tradition in Islamic Science"*, Brill: Leiden, 1999.
- Lin J dan L Yan, *Decoding the Mechanism of Antikythera Astronomical Device*, USA: Springer, 2016.
- MacDougal, Douglas W., *Newton's Gravity*, New York: Springer, 2012.
- Mansur, Muhammad. *Sullamun Nayyiran*, tahun 1925.

- Masroeri, A Ghazalie, *Pedoman Rukyah*, Lajnah Falakiyah PBNU, 2006.
- Meeus, Jean, *Astronomical Algorithm*, Virginia: Willmann-Bell, 1991.
- Musonnif, Ahmad, *Ilmu Falak*, Yogyakarta: Teras, 2011.
- Morrison, James E., *The Astrolabe*, United America State: Janus, 2006.
- Motenbruck, Oliver, *Astronomy on the Personal Komputer*, New York: Springer, 2000.
- Nachum Dershowitz dan Edward M. Reingold, *Calendrical Calculation*, New York: Cambridge University Press, 2008.
- Nashirudin, Muhammad, *Kalender Hijriah Universal*, Semarang: El-Wafa, 2013.
- Narrien, Jhon, *An Historical Account of the origin and Progress of Astronomy*, London: Baldwin, 1833.
- al-Naisaburi, Muslim bin Hajaj Abu al-Hasan, *al-Jami' al-Shohih al-Musamma Shohih Muslim*, tp, 1992.
- al-Nawawi, Al-Imam al-Hafidz Muhyi al-Din Abu Zakariya Ibn Yahya Ibn Syarif Ibn Hurry, *al-Minhaj fi Syarah Shahih Muslim Ibn al-Hajjaj*, Riyadh: Baitul Afkar al-dauliyah, tt.
- Nawawi, Abd. Salam, *Ilmu Falak*, Sidoarjo: Aqaba, 2010.
- Pius A Partanto & M. Dahlan Al Barry, *Kamus Ilmiah Populer*, Surabaya: Arkola, 2001.

- Prastowo, Andi. *Metode Penelitian Kualitatif, Dalam Prespektif Rancangan Penelitian*, Yogyakarta: ar-Ruzz Media, 2012.
- al-Qalyubi, Syihabudin, *Hasyiyah Minhaj al-Thalibin*, Kairo: Mustafa al-Babi al-Halabi, Jilid II, 1956.
- Rahim, Abdur, *Ilmu Falak*, Yogyakarta: Liberty, 1983.
- Rakhmadi Butar-Butar, Arwin Juli. *Khazanah Astronomi Islam Abad Pertengahan*, Purwokerto: UM Purwokerto Press, 2016.
- Roncoli, Ralph B., *Lunar Constants and Models Document*, California: California institute Jet Propulsion Laboratory, 2005.
- Saksono, Tono. *Mengkompromikan Rukyah & Hisab*, Jakarta: Amythas Publicita, 2007.
- Sezgin, Fuad. *Science and Technology in Islam*, Germany: the Institute for the History of Arabic-Islamic Science, Volume II, 2010.
- Shadiq, Sriyatin, *Perkembangan Hisab Rukyat dan Penetapan Awal Bulan Qamariyah dalam Menuju Kesatuan Hari Raya*, Surabaya: Bina Ilmu, 1995.
- al-Syaukani, Muhammad Ibn ‘Ali Ibn Muhammad, *Fathu al-Qadir al-Jami’ baina Fanni al-Riwayat wa al-dirayat min ‘Ilm al-Tafsir*, Mauqi’ al-Tafsir, tt.
- Tahir, Abdul Hamid, *Unsur-Unsur Astronomi Praktik Untuk Kegunaan Tanah*, Malaysia: Penerbitan UTM, 1990.

Tim Perumus, *Panduan Penulisan Karya Tulis Ilmiah*, Semarang: Pascasarjana UIN Walisongo, 2017.

Vallado, David A, *Fundamentals of Astrodynamics and Applications*, United States: Microcosm Press, 2001.

• **Jurnal dan Artikel:**

Aaboe, Asger, *Al-kashi Iteration Method for the determination of $\sin 1^\circ$* .

Andrew, Precious, *The Mathematics of the epicycloid: a historical journey with a modern perspective*, Thesis Master of Science Mathematics The University of New Mexico Agustus 2009.

Azarian, Mohammad K., “Meftah al-Hesab: A Summary” dalam *Missouri Journal of Mathematical Science* Volume 12 no 2 Spring 2000.

Azarian, Mohammad K., “Al-Risala al-Muhitiyya: A Summary” dalam *Missouri Journal of Mathematical Science* Volume 22 no 2 Spring 2010.

Bagheri, Muhammad, “A Newly Found Letter of Al-Kashi on Scientific Life in Samarkand alam”, Artikel No. HM962145 dalam *Jurnal Historia Matematica* volume 24 tahun 1997.

E.S. Kennedy, “A Fifteenth-Century Planetary Computer: al-Kashi’s *Tabaq al-Manatiq* I. Motion of the Sun and Moon in Longitude” dalam *Chicago Journals History of Science Society* Vol. 41. No. 2 (July. 1950).

- _____, “A Fifteenth-Century Planetary Computer: al-Kashi’s *Tabaq al-Manatiq II. Longitudes, Distances and Equations of the Planets*” dalam *Chicago Journals History of Science Society* Vol. 43. No. 1 (April. 1952).
- _____, “An Islamic Computer for Planetary Latitudes” dalam *Jurnal of the American Oriental Society*, Vol. 71, No. 1 (Januari – Maret), 1951.
- _____, “On The Contents and Significance of the khaqani Zij By Jamshid Ghiyath al-Din al-Kashi”, *Islamic Mathematics and Astronomy* Volume 84, 1998.
- Fairuz Sabiq, *Telaah Metodologi Penetapan Awal Bulan Kamariah di Indonesia*, Tesis Pascasarjana IAIN Walisongo Semarang, 2007.
- Mitkova, Maya, “al-Kashi Doubbed as Second Ptolemy”, dalam *Arab Times* tanggal 22 November 2013 hari Jumat.
- Pederson, Olaf, review “the book the planetary equatorium of jamshid ghiyath al-din al-kashi with translation and commentary by E.S. Kennedy” dalam *journal of the American Oriental Society*, Vol. 83, No. 3 (Aug. – Sep., 1963).
- Sadiq al-Falaky, Sriyatin, *Makalah Pelatihan dan Pendalaman Ilmu Falak*, Pascasarjana IAIN Walisongo Semarang tanggal 10-11 januari 2009.
- Kohar, Abdul *Penanggalan Rowot Sasak dalam Perspektif Astronomi*, Skripsi Fakultas Syariah Jurusan Ilmu Falak, 2017.

David A. King dan Julio Samsó, “Astronomical Handbooks and Tables from the Islamic World (750-1900): an Interim Report”, *jurnal Suhayl* Vol 2 tahun 2001.

- **Website**

Jet Propulsion Laboratory (NASA), [Http://ssd.jpl.nasa.gov/](http://ssd.jpl.nasa.gov/)

<https://www.pet.cam.ac.uk/>

<http://cudl.lib.cam.ac.uk/models/equatorie/>

<https://latitude.to/to/articles->

<bycountry/tr/turkey/247/constantinopel.html>

<http://www.caltech.edu/content/jet-propulsion-laboratory/>

<http://cudl.lib.cam.ac.uk/models/equatorie/>

www.digitalfalak.com